

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO
REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
SENSORIAMENTO REMOTO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ALTO CAMAQUÃ - RS**

HENRIQUE NOGUEZ DA CUNHA

Porto Alegre, fevereiro de 2016.

HENRIQUE NOGUEZ DA CUNHA

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ALTO CAMAQUÃ - RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Sensoriamento Remoto.

Orientadora: Dra. Dejanira Luderitz Saldanha

Porto Alegre, 2016.

**AVALIAÇÃO DA SUSCETIBILIDADE À EROSÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
ALTO CAMAQUÃ - RS**

Elaborada por
Henrique Noguez da Cunha

Requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Sensoriamento Remoto

Banca Examinadora:

Dr. Laurindo Antônio Guasselli (UFRGS)

Dr. Jorge Ricardo Ducati (UFRGS)

Dr. Adalberto Koiti Miura (Embrapa Clima Temperado)

Porto Alegre, 2016.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao curso de mestrado em Sensoriamento Remoto pela oportunidade de formação e capacitação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal (CAPES) pela bolsa de estudos, tornando possível o desenvolvimento deste estudo.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Dejanira Saldanha Luderitz e ao meu co-orientador, informal, Dr. José Maria Filippini Alba pelos conhecimentos transmitidos, pela paciência, amizade e confiança depositada.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto pelo empenho e ensino.

Aos colegas do curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto pela amizade e companheirismo.

Aos colegas e ex-colegas da Embrapa Clima Temperado, Lúcia, Daiane, Mauro, Fábria, Ênio, , pela amizade e apoio.

Aos colegas, Rute, Adalberto, Thales, Natalie, Leonardo e Ernestino pela grande contribuição e dedicação nos trabalhos de campo e processamento dos dados deste estudo.

Aos meus amigos pelo carinho e amizade, que deram apoio e estiveram presentes nos diversos momentos desta trajetória.

Ao meu irmão Luciano, pelo companheirismo, conselhos, conversas, amizade e participação em minhas tomadas de decisões.

Aos meus pais, Renato (*in memoriam*) e Ana, pela vida, educação, pelo amor, carinho, conselhos, pelas contribuições e apoio em toda minha trajetória.

RESUMO

A exploração excessiva dos recursos naturais e o uso desordenado do espaço buscando uma rentabilidade máxima dos sistemas, originou uma intensa preocupação com as implicações ambientais resultantes da falta de gestão do espaço natural. Para o estudo dos processos de degradação ambiental é necessário analisar os elementos do meio físico e antrópico que participam desse processo, onde a espacialização das informações requer a utilização de sistemas e modelos nos quais seja possível integrar os dados. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar e espacializar os graus de suscetibilidade à erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã com base em geotecnologias, em especial o sensoriamento remoto e o Sistema de Informações Geográficas. Foram avaliados os aspectos físicos e antrópicos da bacia hidrográfica de acordo com o grau de suscetibilidade à erosão. Os resultados da suscetibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã tenderam à “estabilidade/ suscetibilidade mediana” com 3.111,5 km² (60,7%) e menor representação das classes “Estável” com 138,4 km² (2,7%), “Moderadamente Estável” com 1358,4 km² (26,5%), “Moderadamente Suscetível” com 389,5 km² (7,6%) e “Suscetível” com 128,2 km² (2,5%), contudo, a avaliação dos parâmetros físicos e antrópicos analisados separadamente resultaram em duas regiões distintas. (1) Na região oeste os aspectos físicos tendem à estabilidade e os aspectos antrópicos à suscetibilidade, caracterizados pela mecanização agrícola sobre relevo plano à suave ondulado. (2) Na região leste, o meio físico tende à suscetibilidade e o uso da terra à estabilidade, cujo relevo apresenta, em grande parte, alta declividade e presença de morros com afloramento rochoso, condições inaptas às atividades agrícolas intensivas.

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã; suscetibilidade à erosão; Sistema de Informações Geográficas (SIG); Sensoriamento Remoto.

ABSTRACT

The excessive exploration of natural resources and the uncontrolled use of the territory, seeking a maximum profitability of the systems, has caused an intense concern about the environmental implications arising from lack of management of the natural areas. The environmental degradation processes are analyzed by the physical environment elements and the land covers and land uses included in the process, when data are integrated by geographical information systems and spatial models. In this sense, the objective of this study was to evaluate the susceptibility to erosion in the watershed of the Upper Camaquã river based on geotechnology, with emphasis in remote sensing and Geographic Information Systems. We evaluated the physical and anthropic aspects of the watershed according to the degree of susceptibility to erosion. The Upper Camaquã watershed showed "stability/median susceptibility" with 3.111,5 square kilometers (60,7%) and lower representation of classes "Stable" with 138.4 km² (2.7%) "Moderately Stable " with 1358.4 square kilometers (26.5%) , " Moderately Susceptible" with 389.5 km² (7.6%) and "Susceptible" with 128.2 square kilometers (2.5%), however, two regions occurred when the physical and anthropogenic components were considered separately: (1) The western region with stable physical aspects, susceptible anthropogenic aspects and agricultural mechanization on flat to gently rolling terrains; (2) the eastern region with susceptible physical environment, stable land use, where terrain has largely, steep slopes and hilly terrains with rocky outcrop, unfit conditions to intensive agricultural activities.

Keywords: High Camaquã watershed; Susceptibility to erosion; Geographic Information System (GIS); Remote Sensing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Estrutura exemplificada de uma imagem digital de 8bits (256 números digitais) em função da intensidade de luz refletida. A cor preta representa o valor 0 e a cor branca o valor 255..... | 25 |
| Figura 2. Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã com ênfase na variação hipsométrica. | 29 |
| Figura 3. Distribuição espacial das classes geológicas na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 33 |
| Figura 4. Declividade do relevo na área de estudo | 35 |
| Figura 5. Amplitude altimétrica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 36 |
| Figura 6. Domínios geomorfológicos presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 38 |
| Figura 7. Distribuição espacial das Unidades geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 41 |
| Figura 8. Fluxograma dos procedimentos metodológicos e seus resultados. | 48 |
| Figura 9. a) Direção de fluxo; b) Fluxo acumulado/drenagem; c). MDE original com remoção de possíveis anomalias; d). Amplitude altimétrica em relação à drenagem mais próxima. | 51 |
| Figura 10. Mosaico de imagens Landsat pré-processadas em composição falsa cor. | 57 |
| Figura 11. Detalhamento da classificação com verificação de um ponto amostrado em saída de campo..... | 60 |
| Figura 12. Distribuição e proporções dos planos de informações na geração das informações de suscetibilidade física e antrópica. | 61 |
| Figura 13. Mapa de suscetibilidade das unidades geológicas. | 65 |
| Figura 14. Distribuição das classes de suscetibilidade geológica. | 67 |
| Figura 15. Distribuição das classes de suscetibilidade clinográfica | 68 |
| Figura 16. Mapa de suscetibilidade clinográfica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 70 |
| Figura 17. Distribuição das classes de suscetibilidade hipsométrica | 72 |
| Figura 18. Mapa de suscetibilidade hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 73 |

| | |
|---|----|
| Figura 19. Distribuição das classes de suscetibilidade das unidades geomorfológicas. | 75 |
| Figura 20. Mapa de suscetibilidade das unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 76 |
| Figura 21. Distribuição das classes de suscetibilidade geomorfológica. | 77 |
| Figura 22. Mapa de suscetibilidade geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 79 |
| Figura 23. Distribuição das classes de suscetibilidade pedológica. | 81 |
| Figura 24. Mapa de suscetibilidade pedológica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 82 |
| Figura 25. Distribuição das classes de suscetibilidade física. | 84 |
| Figura 26. Mapa de suscetibilidade física à erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 85 |
| Figura 27. Área relativa ocupada pelas categorias de uso e cobertura da terra na B.H do Alto Camaquã no ano de 2015. | 86 |
| Figura 28. Exemplos das classes de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã no ano de 2015. | 87 |
| Figura 29. Mapa de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã no ano de 2015. | 89 |
| Figura 30. Mapa de validação do uso e cobertura da terra por pontos amostrais. | 91 |
| Figura 31. Distribuição das classes de suscetibilidade antrópica e de cobertura da terra. | 93 |
| Figura 32. Mapa de suscetibilidade do uso e da cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 94 |
| Figura 33. Distribuição das classes de suscetibilidade física e antrópica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 96 |
| Figura 34. Mapa de suscetibilidade física e antrópica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 97 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Distribuição quantitativa dos municípios abrangentes à Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 28 |
| Tabela 2. Classes geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. ... | 30 |
| Tabela 3. Formas do relevo da área de estudo..... | 34 |
| Tabela 4. Distribuição das unidades geomorfológicas na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 37 |
| Tabela 5. Classes pedológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. ... | 40 |
| Tabela 6. Distribuição demográfica dos municípios integrantes da BH do Alto Camaquã..... | 44 |
| Tabela 7. Valores de suscetibilidade à erosão de acordo com a relação pedogênese/morfogênese..... | 47 |
| Tabela 8. Valores de suscetibilidade à coesão das rochas. | 49 |
| Tabela 9. Suscetibilidade à erosão de acordo com o intervalo altimétrico | 51 |
| Tabela 10. Suscetibilidade à erosão de acordo com o intervalo de declividade. | 52 |
| Tabela 11. Suscetibilidade à erosão de acordo com unidades geomorfológicas. | 53 |
| Tabela 12. Níveis de suscetibilidade pedológica à erosão..... | 54 |
| Tabela 13. Relação das classes com o grau de suscetibilidade à erosão | 55 |
| Tabela 14. Graus de Suscetibilidade à erosão para as classes de Uso e cobertura da terra..... | 58 |
| Tabela 15. Exemplo da forma de preenchimento das planilhas de campo. | 59 |
| Tabela 16. Unidades geológicas e os respectivos índices de suscetibilidade na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 62 |
| Tabela 17. Quantificação de rochas predominantes nas unidades geológicas de acordo com o índice de suscetibilidade..... | 66 |
| Tabela 18. Quantificação da suscetibilidade natural à erosão em relação ao intervalo clinográfico. | 68 |
| Tabela 19. Relação da amplitude altimétrica com os índices de suscetibilidade natural à erosão e sua quantificação..... | 71 |
| Tabela 20. Distribuição areal das unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 74 |

| | |
|--|----|
| Tabela 21. Classes de suscetibilidade geomorfológica da BH do Alto Camaquã. | 78 |
| Tabela 22. Valores de suscetibilidade e área de cada classe pedológica presente na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 80 |
| Tabela 23. Classe de suscetibilidade natural à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 83 |
| Tabela 24. Matriz de confusão entre dados obtidos em campo e classificação de Máxima Verossimilhança. Onde: (1): classe “Água”; (2): “Área urbana”; (3): “Lav. Temporária”; (4): “Florestal”; (5): “Silvicultura”; (6): “Campestre”; (7): “Solo exposto” e (8): “Afloramento rochoso” e valores obtidos no Teste Kappa. | 90 |
| Tabela 25. Quantificação da suscetibilidade antrópica e de cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 92 |
| Tabela 26. Percentual das classes de suscetibilidade física e antrópica na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 95 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 1.1 Objetivo geral | 14 |
| 1.2 Objetivos específicos | 14 |
| 2 JUSTIFICATIVA | 15 |
| 3. REFERENCIAL TEÓRICO | 16 |
| 3.1 Bacia hidrográfica como unidade de análise sistêmica | 16 |
| 3.2 Análises morfodinâmicas em bacias hidrográficas..... | 17 |
| 3.3 Características morfodinâmicas dos elementos do meio físico..... | 18 |
| 3.3.1 Geologia | 18 |
| 3.3.2 Geomorfologia | 18 |
| 3.3.3 Solos..... | 18 |
| 3.3.4 Cobertura vegetal | 19 |
| 3.3.5 Clima..... | 20 |
| 3.4 Características morfodinâmicas das atividades antrópicas..... | 20 |
| 3.5 Aplicações da análise morfodinâmicas em estudos ambientais | 22 |
| 3.6 Geotecnologias voltadas para estudos ambientais | 23 |
| 3.6.1 Sensoriamento Remoto aplicado em estudos da morfodinâmicas da paisagem | 24 |
| 3.6.2 Sistema de Informações Geográficas | 27 |
| 4 ÁREA DE ESTUDO..... | 28 |
| 4.1 Situação Geográfica..... | 28 |
| 4.2 Geologia..... | 30 |
| 4.3 Geomorfologia..... | 34 |
| 4.3.1 Planícies Alúvio-coluvionares | 39 |
| 4.3.2 Depressão do Rio Negro | 39 |
| 4.3.3 Planalto Rebaixado Sul-Riograndense | 39 |
| 4.3.4 Planaltos Residuais Sul-Riograndenses..... | 39 |
| 4.4 Solos..... | 40 |
| 4.5 Cobertura vegetal..... | 42 |

| | |
|--|-----|
| 4.6 População e economia..... | 43 |
| 5 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 46 |
| 5.1 Procedimentos metodológicos | 49 |
| 5.1.1. Caracterização dos níveis de suscetibilidade à erosão das Unidades Geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 49 |
| 5.1.2 Determinação da suscetibilidade à erosão da Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 50 |
| 5.1.3 Mapeamento da suscetibilidade à erosão dos solos presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 54 |
| 5.1.4 Suscetibilidade do meio físico da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã | 55 |
| 5.1.5 Suscetibilidade do uso e da cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 56 |
| 5.1.6 Suscetibilidade dos meios físicos e antrópicos da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã | 61 |
| 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES | 62 |
| 6.1 Caracterizações dos níveis de suscetibilidade das Unidades Geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã..... | 62 |
| 6.2 Caracterização da suscetibilidade geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 67 |
| 6.2.1 Clinografia..... | 67 |
| 6.2.2 Amplitude Hipsométrica | 71 |
| 6.2.3 Unidades Geomorfológicas..... | 74 |
| 6.2.4 Suscetibilidade da Geomorfologia | 77 |
| 6.3 Suscetibilidade dos solos presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 80 |
| 6.4 Suscetibilidade dos aspectos físicos da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 83 |
| 6.5 Identificação e Suscetibilidade do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 86 |
| 6.6 Suscetibilidade dos elementos físicos e antrópicos na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. | 95 |
| 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 98 |
| REFERÊNCIAS..... | 100 |

1. INTRODUÇÃO

A crescente industrialização, a mecanização da agricultura e os avanços tecnológicos e econômicos da exploração dos recursos naturais vêm alterando o equilíbrio dinâmico da natureza (THOMAZIELLO, 2007). Assim, são introduzidas práticas que desequilibram as condições naturais do sistema, de maneira que, os processos erosivos são acelerados (WEILL; PIRES NETO, 2007). A erosão acelerada, ou erosão antrópica, devido à rapidez com que ocorre, acarreta grandes prejuízos tanto para o meio ambiente quanto a economia, gerando assoreamentos e poluições, degradações na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, além de reduzirem a capacidade produtiva das terras (REBELO, 2003).

Os problemas ambientais são causados principalmente pelo uso inadequado da terra pelas frequentes alterações não planejadas, acima da capacidade de suporte do solo, como a ocupação e uso das áreas de preservação permanente e a remoção da cobertura vegetal das matas ciliares.

Em áreas rurais, o manejo impróprio do solo, sem a adequada observação dos riscos de degradação ambiental, tem desencadeado processos erosivos acelerados, um dos principais fatores determinantes da deterioração da qualidade ambiental (GUERRA; CUNHA, 1996; PRUSKI et al., 2006).

Para zoneamento e avaliação da suscetibilidade à erosão frente os recursos naturais e antrópicos, a bacia hidrográfica tem sido utilizada como uma unidade sistêmica de planejamento. (CHRISTOFOLETTI, 1995a; PISSARRA, 1998; PISSARRA et al., 2004).

Por possuírem papel integrador, as bacias hidrográficas compreendem os processos de evolução do relevo e dos impactos gerados pela ação antrópica (MOREIRA; PIRES NETO, 1998), permitindo avaliar a suscetibilidade de ocorrência dos processos erosivos e possibilitando um diagnóstico da degradação ambiental (GUERRA e CUNHA, 1996).

Para o estudo dos processos de degradação ambiental é necessário analisar os elementos do meio físico que participam desse processo, onde a espacialização das informações em grandes áreas requer a utilização de sistemas nos quais seja possível integrar os dados.

Os Sistema de Informações Geográficas (SIG), tornam possível a visão geral temporal da área de estudo, sendo aplicado em estudos que envolvem o planejamento

ambiental, a capacidade de uso da terra, em modelagem quantitativa de impactos ambientais e na realização de diferentes formas de zoneamento (CÂMARA; ORTIZ, 1998).

Os produtos advindos de Sensores Remotos têm colaborado fortemente na análise e integração de dados em análises voltadas para grandes porções territoriais. Nesse sentido, as técnicas de sensoriamento remoto aplicada aos processamentos digitais de imagem contribui para a avaliação e o monitoramento dos elementos físicos e antrópicos (COSTA et al., 2000).

Vários são os trabalhos que utilizaram SIGs e técnicas de Sensoriamento Remoto em estudos correlacionados ao uso e suscetibilidade dos solos à erosão (ROSS, 1994; CREPANI et al., 2001; KAWAKUBO, 2005; LINS-DE-BARROS, 2005; PALMEIRA et al., 2005; MENEZES et al., 2007; RIBEIRO; CAMPOS, 2007; COSTA et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009; ALMEIDA et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009; CARVALHO; PINTO, 2009).

A elaboração e aplicação de modelos em estudos de erosão vem sendo um recurso amplamente utilizado para a delimitação e espacialização de áreas com maior e menor suscetibilidade à erosão, favorecendo o zoneamento ambiental e, conseqüentemente o planejamento ambiental de bacias hidrográficas.

Dentre os modelos mais utilizados, destacam-se a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados proposta por Ross (1994) e a análise da suscetibilidade natural à perda de solo desenvolvida e indicada por Crepani et al. (1996). Segundo o Crepani et al. (2001), unidades com suscetibilidade natural à erosão são os ambientes onde a intervenção antrópica é restrita, prevalecendo a cobertura vegetal. Já as unidades com suscetibilidade ambiental à erosão, são ambientes onde as condições de equilíbrio foram alteradas pela ação humana.

Nesta ótica, o presente trabalho visa avaliar e espacializar, através da integração dos fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos e antrópicos, os graus de suscetibilidade à erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Como resultado deste estudo será obtido o mapeamento das áreas de maior suscetibilidade e também das áreas de maior estabilidade para desenvolvimento das atividades socioeconômicas. O mapa de suscetibilidade à erosão poderá servir de subsídio para tomada de decisões sobre o ordenamento territorial na bacia hidrográfica em estudo.

1.1 Objetivo geral

Analisar a suscetibilidade à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã, por meio da análise da morfodinâmica dos elementos do meio físico e do uso e cobertura da terra.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar e diagnosticar as suscetibilidades/estabilidades à erosão em função das unidades geológicas, geomorfológicas e pedológicas que ocorrem na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã;
- Integrar os mapas de suscetibilidade natural à erosão de geologia, geomorfologia e solos;
- Identificar e mapear os tipos de uso e cobertura da terra atuais na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã;
- Determinar a suscetibilidade à erosão de usos e coberturas da terra da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã;
- Gerar um mapa síntese da suscetibilidade à erosão a partir dos elementos avaliados.

2 JUSTIFICATIVA

Depois de um extenso período de utilização dos recursos naturais na busca por uma rentabilidade máxima dos sistemas, surge uma intensa preocupação quanto às implicações ambientais do uso intensivo. As ações antrópicas sem planejamento podem aumentar os riscos de eventos erosivos e desastres ambientais. Os elementos naturais são relativamente estáveis, todavia os fatores interferidos pelo homem podem sofrer alterações no tempo e no espaço, ampliando os episódios destes eventos (SANTOS et al., 2007).

As informações da morfogênese dos elementos físicos e antrópicos contribuem como instrumentos de planejamento eficientes para estudos de detecção e análise de áreas de risco. A partir desta, é possível prevenir e estabelecer ações entre a sociedade e o poder público, com o objetivo de planejar a defesa contra as degradações e desastres ambientais. As medidas preventivas são conduzidas para identificação das áreas mais suscetíveis, onde são planejadas medidas corretivas (MARCELINO, 2006).

O estudo das potenciais suscetibilidades à degradação do solo, decorrentes da erosão natural ou acelerada por ação antrópica é uma meta prioritária do planejamento conservacionista e tema de pesquisa em Conservação do Solo e da Água (SANTOS et al., 2007).

Uma ferramenta importante para estudos potenciais dessa natureza é a utilização de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, já utilizada por autores como Ross (1994) e Crepani et al. (2001) para o mapeamento da fragilidade ambiental/suscetibilidade à erosão.

O fato de inexistirem estudos dessa natureza na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã e a importância da análise de suscetibilidades e potencialidades dos ambientes que compõem a área de estudo são os motivos da proposta deste trabalho. Por meio da avaliação de suscetibilidade à erosão, mapa síntese dos mapeamentos de elementos físicos e antrópicos, serão apresentados os níveis de suscetibilidade à erosão dos diversos ambientes, os quais poderão subsidiar o planejamento territorial.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Bacia hidrográfica como unidade de análise sistêmica

Os processos naturais relacionados ao meio físico não se limitam às fronteiras territoriais políticas, sejam municipais, estaduais ou nacionais, tampouco espaços públicos e privados, ou mesmo às diferenças entre o contexto rural e urbano. No entanto, podem ser delimitados por domínios de paisagem relativamente homogêneos, conhecidas como bacias, sub-bacias e microbacias hidrográficas (LIMA; ZAKIA, 1996).

As bacias hidrográficas (BHs) são áreas de captação natural das águas fluviais e pluviais, as quais são drenadas superficialmente e subsuperficialmente para um curso de água principal até uma foz (exutório), ponto de encontro dos diversos fluxos. Esta compartimentação geográfica é imposta pelo relevo, isto é, pelas formas das estruturas da superfície terrestre, sendo evidenciada pelos divisores de água (TUCCI, 2002).

O entendimento das BHs como sistemas individualizados e hierarquizados já está consolidado, pois é um recorte importante para estudos que englobam o meio físico porque identificam-na como unidade fundamental de processos de escoamentos hídricos e sedimentares (LIMA, 1995).

Criada em 1997, a Política Nacional dos Recursos Hídricos adota a bacia hidrográfica como compartimento para a prática e desempenho do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, Lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997, 1997). Neste enfoque a BH é considerada um elemento sistêmico, na qual as entradas (precipitação pluviométrica) e saídas (evapotranspiração, deságue em exutório) de água podem ser delimitadas em bacias e sub-bacias hidrográficas, interligadas pelos sistemas hídricos (PORTO; PORTO, 2008).

A abordagem sistêmica proporciona a interligação de vários elementos por fluxos de matéria e energia, na qual a BH é o melhor compartimento físico a ser considerado (CHRISTOFOLETTI, 1995a).

Este pensamento é corroborado pela abordagem geossistêmica de Bertrand (1972), ou mesmo pela ecodinâmica de Tricart (1977), cujas perspectivas compreendem a ação humana como determinantes tanto nas características como

nas dinâmicas do ambiente, sendo considerada/incorporada como mais um elemento do sistema, que condiciona fluxos de matéria e energia, alterando o comportamento ou equilíbrio natural dos geossistemas (BERTRAND, 1972; CHRISTOFOLETTI, 1995a).

A partir da década de 1990 a análise e o planejamento ambiental em bacias hidrográficas enquanto unidade cresceu, tornando possível a avaliação, de forma integrada, das ações antrópicas sobre o ambiente e seus impactos sobre o equilíbrio da paisagem (BOTELHO; SILVA, 2004). As BHs possuem grande importância para a análise das características de relevo, principalmente quando se trata de estudos de morfodinâmica da paisagem terrestre.

3.2 Análises morfodinâmicas em bacias hidrográficas

As morfodinâmicas podem ser entendidas como os processos de modificações ou desequilíbrios na paisagem, tais como assoreamentos, deslizamentos e transporte de materiais das vertentes (CHRISTOFOLETTI, 1995b). Esses processos dependem da interação entre o clima, a topografia, o solo, o material rochoso e a cobertura vegetal (LIMA, 1976), sendo a última fundamental devido à sua ação impeditiva sobre os processos erosivos (TRICART, 1977).

De acordo com Crepani et al. (2001), para analisar as características de uma bacia hidrográfica é necessário o estudo de sua formação, evolução, composição física, assim como a cobertura vegetal presente. Assim, o conhecimento sobre informações temáticas de Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Fitogeografia integradas caracterizam o comportamento de cada porção territorial frente ao uso estabelecido. As informações de Climatologia são necessárias para o conhecimento de características climáticas da região de estudo, tornando possível prever o comportamento diante à intervenção antrópica.

A análise morfodinâmica de uma bacia hidrográfica pode ser realizada com base nos princípios da Ecodinâmica (TRICART, 1977) que prevê diferentes classes morfodinâmicas oriundas dos processos de morfogênese ou pedogênese. Na morfogênese prevalecem os processos erosivos, modeladores do relevo, por outro lado, na pedogênese predominam os processos de formação de solos (Crepani et al., 2001).

3.3 Características morfodinâmicas dos elementos do meio físico

3.3.1 Geologia

Na análise e definição das classes morfodinâmicas, a Geologia possui informações referentes à história da evolução geológica, assim como informações do nível de coesão das rochas constituintes, ou seja, o grau da ligação entre os minerais ou partículas. A resistência de uma rocha depende da suscetibilidade ao intemperismo da sua composição mineralógica, assim como do potencial de desagregação de cada mineral presente.

Em estudos baseados nos princípios da Ecodinâmica (TRICART, 1977) as informações dos níveis de coesão das rochas são de fundamental importância, pois categorizam a rocha quanto a sua morfogênese ou pedogênese. A primeira configurada pelas rochas pouco coesas e a segunda pelas rochas mais coesas.

3.3.2 Geomorfologia

As informações relativas à morfometria são diretamente influenciadoras dos processos ecodinâmicos. Assim, o estudo de uma unidade de paisagem deve contar com dados geomorfológicos para tornar possível uma caracterização quanto à sua estabilidade. A obtenção destas informações é primordial em estudos que buscam avaliar o meio físico, pois o conhecimento das formas de relevo presente na área de estudo permite a quantificação empírica da energia potencial responsável pelo transporte de sedimentos, modelador do relevo (Crepani et al., 2001).

Em regiões cuja amplitude hipsométrica e clinografia são caracterizadas por altos valores há predominância dos processos morfogenéticos, por outro lado em situações de baixos índices dos parâmetros morfométricos ocorre o domínio dos processos pedogenéticos.

3.3.3 Solos

A maturidade dos solos caracteriza diretamente o predomínio dos processos morfogenéticos ou pedogenéticos. O primeiro processo qualificado pelos processos erosivos origina solos jovens, instáveis e pouco desenvolvidos, por outro lado, o

segundo processo por contar com uma maior estabilidade desenvolve solos maduros e bem desenvolvidos. O reconhecimento das informações pedológicas na caracterização morfodinâmica de uma área de estudo é de relevante importância, pois é um indicador básico da posição de cada unidade (Crepani et al., 2001).

3.3.4 Cobertura vegetal

O grau de estabilidade que a cobertura vegetal garante ao solo e as atividades antrópicas realizadas são parâmetros a serem considerados em um estudo sobre o meio físico, pois contribui para a defesa de uma unidade de paisagem frente às consequências de processos erosivos, ou seja, que modificam as formas de relevo. Segundo Crepani et al. (2001), a proteção da paisagem realizada pela ação da cobertura vegetal impede a compactação do solo, aumenta a capacidade de infiltração, evita o impacto pluviométrico direto além de compreender estruturas biológicas permeabilizando e tornando o solo mais poroso.

A cobertura vegetal possui um papel importante na diminuição da velocidade de escoamento das águas pluviais favorecendo o processo de infiltração e diminuindo a capacidade de erosão. Assim a utilização da cobertura vegetal para a caracterização morfodinâmica de uma determinada área de estudo está ligada à sua competência de proteção. Os processos morfogenéticos estão relacionados às coberturas vegetais de densidade mais baixa, já os processos pedogenéticos advêm de uma cobertura vegetal mais densa, a qual comporta o desenvolvimento, maturação e maior proteção do solo (FOSTER, 1982; BRAIDA; CASSOL, 1999).

As intervenções por atividades antrópicas, como a agricultura, colaboram para o processo morfogenético, pois conta com constante preparo e revolvimento dos solos, além da utilização indiscriminada e não realização de pousio destes solos. Ainda, a falta de manejo adequado do solo sem práticas conservacionistas que visam reduzir os impactos causados pela agricultura pode ocasionar impactos irreversíveis ao meio. Tendo em vista que a variável cobertura vegetal conta com a ação antrópica pelo uso da terra, a avaliação do uso da terra é imprescindível quando se trata de estudos de morfodinâmicas, uma vez que esta pode acelerar ou desencadear processos morfogenéticos ou pedogenéticos (BLOOM, 1970).

3.3.5 Clima

Os atributos climatológicos atuam diretamente na propriedade de proteção exercida pela cobertura vegetal sobre o solo. A intensidade pluviométrica e a temperatura tornam possível a quantificação empírica do grau de risco da área de estudo. Os parâmetros de intensidade e duração das chuvas traduzem o nível de escoamento e encharcamento do solo, condições favoráveis, em alto índice, para o desenvolvimento dos processos morfogenéticos (CREPANI et al., 2001).

3.4 Características morfodinâmicas das atividades antrópicas

O mapeamento do uso da terra possui grande importância na perspectiva de ordenamento territorial, pois a exploração excessiva e a ocupação desordenada repercutem grandes danos ao ambiente. O uso e cobertura impróprios das terras implicam em perdas significativas de solo, matéria orgânica, biodiversidade, água, dentre outros, danificando o equilíbrio dos sistemas em bacias hidrográficas. A classificação do uso e cobertura da terra como uma análise ambiental é uma importante etapa para o planejamento de reversão desse desequilíbrio (FIDALGO; ABREU, 2005).

O termo “uso da terra” deve ser entendido como a forma de ocupação antrópica do espaço. Enquanto a expressão “cobertura” se refere ao revestimento de sua superfície. Se natural, referem-se às fisionomias que ocorrem na superfície da terra, como: tipos de vegetações, corpos d’água, afloramento rochoso, deserto, neve, geleiras, oceanos, depósitos sedimentares, dentre outros. Se antrópico ou artificial refere-se às grandes intervenções humanas como: construções, infraestrutura, rodovias, cidades, barragens e reservatórios, plantios florestais, áreas plantadas, indústrias, áreas de antropismos (agricultura, mineração), etc. (NOVO, 2002; DI GREGORIO; JANSEN, 1998).

Em síntese, o uso da terra indica como determinada população utiliza o espaço geográfico, enquanto que a cobertura refere-se ao tipo de aparência biofísica que reveste um dado território.

As atividades antrópicas são refletidas na dinâmica da cobertura vegetal ocasionando impactos sobre os elementos naturais, como as comunidades faunística e florística, os recursos de água, o clima e os solos, em acordo com a ecodinâmica do

sistema e o necessário manejo dos recursos da terra (FAO/UNEP, 2000). Neste caso, o termo “terra” excede o sentido de solo, substrato ou superfície, pois contempla vários elementos naturais, porém corrobora com o termo paisagem e território.

A investigação do uso e da cobertura da terra revela a distribuição geográfica dos tipos de uso sobre as diferentes paisagens terrestres. O levantamento desse plano de informações visa a sua espacialização e classificação por meio de mapeamentos (IBGE, 2006).

A geração de informações detalhadas sobre o espaço geográfico é uma premissa para planejamentos e tomadas de decisões. O mapeamento de uso e cobertura da terra é um mecanismo que ajuda nessa função, revelando-se adequado para estimular o desenvolvimento sustentável na visão ambiental, e necessário para o planejamento regional ou local do terreno (ARAÚJO FILHO et al., 2011).

O planejamento de uso dos recursos naturais é uma ferramenta necessária, pois o uso das terras não adequado, em consequência do grande crescimento do setor agropecuário e a falta de avaliação da capacidade de uso de solos, tem se tornado frequente, ocasionando impactos negativos ao ambiente (SILVA et al., 2009).

Thornton et al. (1990), e Tufford et al. (1998) demonstram em seus estudos a alta correlação entre a distribuição das atividades antrópicas, o estado da cobertura e o índice de escassez dos recursos hídricos. Os impactos causados pelo mau uso da terra são representados por inundações, assoreamentos, intensos processos erosivos, alterando assim, os aspectos morfológicos e hidrológicos de uma bacia hidrográfica (WOLMAN, 1967; PARK, 1981; KNIGHTON, 1989).

Em BHs com cobertura florestal nativa, a vegetação produz proteção, evita a erosão do solo, a deposição e a lixiviação de nutrientes (SOPPER, 1975). Assim, a retirada da vegetação por meio do uso inadequado da terra, somado ao tipo de vertente, tem contribuído para o assoreamento, a erosão das margens dos cursos d'água e, sobretudo, para o desequilíbrio do regime das cheias. Com a necessidade de um planejamento de uso da terra, por órgãos gestores, é de grande importância a disponibilidade de informações fidedignas da estrutura atual do espaço geográfico (CAMPOS et al., 2010).

Os conflitos de uso são determinados pelo uso inadequado ou utilizações indevidas da terra em inconformidades com o Código Florestal (NARDINI et al., 2012). O Novo Código Florestal brasileiro (BRASIL Lei nº 12.651/2012, de 25 de maio de 2012, 2012) determina as normas gerais sobre qual forma e onde o território pode ser

explorado ao estabelecer as áreas de vegetação nativa que devem ser preservadas.

A documentação espacial dos tipos de uso e da cobertura da terra é essencial para planejar um uso racional do espaço (IBGE, 2006). Somente o mapeamento dos fatos pode representar a espacialidade real do uso da terra no meio rural (KELLER, 1969).

Para um maior entendimento e interpretação do uso e da cobertura da terra, o Manual Técnico de Uso da Terra, criado por IBGE (2006), categoriza o uso da terra em: a) Áreas antrópicas não agrícolas, associadas a todos os tipos de uso da terra de natureza não agrícola, como áreas industriais, urbanizadas, comerciais, de extração mineral, entre outras; e b) Áreas antrópicas agrícolas, incluindo todas as terras cultivadas, caracterizadas pelo delineamento de áreas com cultivo ou em descanso, sobretudo atividades agrosilvopastoris. Por sua vez, a cobertura da terra recebe a seguinte classificação: a) Áreas de vegetação natural, nas quais compreendem um conjunto de estruturas florestal e campestre; e b) Água, que incluem todas as classes de águas interior e costeira, naturais ou artificiais.

Alguns autores abordaram o uso e cobertura da terra em BHs com resultados profícuos, como: Simon (2007), que realiza a dinâmica de uso da terra e sua interferência na morfohidrografia da bacia do Arroio Santa Bárbara-Pelotas (RS); Altmann et al. (2011), que investigam a evolução temporal do uso e cobertura da terra tendo como estudo de caso o município de Teutônia, Rio Grande do Sul; assim como os estudos de Cihlar e Jansen (2001); Comber (2008); Comber et al. (2005); Fisher et al. (2005); Jansen e Di Gregorio (2000).

3.5 Aplicações da análise morfodinâmicas em estudos ambientais

A partir dos princípios da Ecodinâmica (TRICART, 1977), estudos dos diferentes componentes da natureza (relevo, geologia, solo, vegetação e clima) de forma integrada possibilitam realizar diagnósticos de fragilidade dos ambientes naturais (SPÖRL; ROSS, 2004).

Em um primeiro momento, Ross (1994) propôs a análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados a partir de duas metodologias. Ambos métodos propostos consideram as variáveis geomorfológicas, pedológicas, de clima e cobertura vegetal, no entanto diferem-se em relação ao atributo considerado para a geomorfologia. Em uma destas são considerados como parâmetros

geomorfológicos os índices de dissecação do relevo, em contraponto a outra considera o fator de declividade.

Para Ross (1994) os índices de fragilidade dos ambientes são classificados por 5 categorias que variam em uma escala crescente de muito baixa fragilidade à muito alta fragilidade.

Crepani et al. (1996) desenvolveram uma metodologia para obtenção das informações sobre a suscetibilidade natural à perda de solo com objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia. A base no conceito de Ecodinâmica e a reinterpretação de dados temáticos por meio de imagens de satélite foram acrescentados neste método.

Além das variáveis geomorfológicas, pedológicas, climáticas e de cobertura vegetal são consideradas, também, as informações geológicas. O índice de suscetibilidade natural à erosão é classificado de 10 à 30 por meio de 21 níveis, que variam em uma escala crescente de estável à suscetível.

Considerando as formas de quantificar a fragilidade/suscetibilidade, o método sugerido por Crepani et al. (1996) utiliza a partir de uma álgebra de mapas, valores médios para o produto final, e ROSS (1994) utiliza o agrupamento dos índices dos parâmetros com ênfase no relevo.

Com base nos métodos propostos por Ross (1994) e Crepani et al. (1996, 2001) surge uma vasta literatura de estudos voltados para mensuração da fragilidade/suscetibilidade. Alguns exemplos são os estudos abordados por Kawakubo et al. (2005), Lins-de-Barros (2005), Palmeira et al. (2005), Menezes et al. (2007), Ribeiro; Campos (2007), Costa et al. (2008), Gonçalves et al. (2009), Almeida et al. (2009), Oliveira et al. (2009) e Carvalho; Pinto (2009).

3.6 Geotecnologias voltadas para estudos ambientais

Os avanços tecnológicos têm contribuído para estudos relacionados com suscetibilidade/fragilidade em bacias hidrográficas, possibilitando o acesso a um maior número de informações, o que torna possível trabalhar com áreas de grande abrangência territorial.

As geotecnologias voltadas ao sensoriamento remoto e ao sistema de informações geográficas (SIG) são conectadas, visando estudos, aplicações e tomadas de decisão para o planejamento ambiental.

O uso de dados disponíveis em meios digitais subsidia processos de interpretação visual e automatizada, dotado de interações entre as informações presentes no banco de dados. Os processamentos digitais e os dados obtidos por sensores presentes em satélites contribuem para avaliações espaciais, por exemplo a análise das características naturais, a ação antrópica, além de dinâmicas temporais em bacias hidrográficas.

3.6.1 Sensoriamento Remoto aplicado em estudos da morfodinâmica da paisagem

Sensoriamento remoto pode ser definido pelas atividades baseadas na obtenção e diagnóstico de informações adquiridas por sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos, os quais detectam e armazenam a radiação emitida ou refletida de um objeto (NOVO, 2002).

De acordo com Jensen (2009), os sensores registram informações espectrais das distintas regiões do espectro eletromagnético que variam entre a radiação ultravioleta, visível, infravermelho e microondas.

Os tipos de sensores variam em função do produto gerado. Neste sentido, os sensores não imageadores são caracterizados por não gerar imagem da superfície analisada, como o primordial levantamento preciso do comportamento espectral de um determinado alvo adquiridos pelas assinaturas espectrais obtidas por espectrorradiômetros e gráficos por radiômetros. Por outro lado, os sensores imageadores retornam uma imagem da superfície observada, assim como sua variabilidade espacial (SAUSEN, 2005).

A imagem digital gerada por sensores imageadores pode ser definida em função da intensidade de luz refletida ou emitida pelos alvos presentes na cena, na forma matricial de “x” e “y” onde cada célula apresenta o valor de intensidade, representada por um determinado valor inteiro e não-negativo (Figura 1).

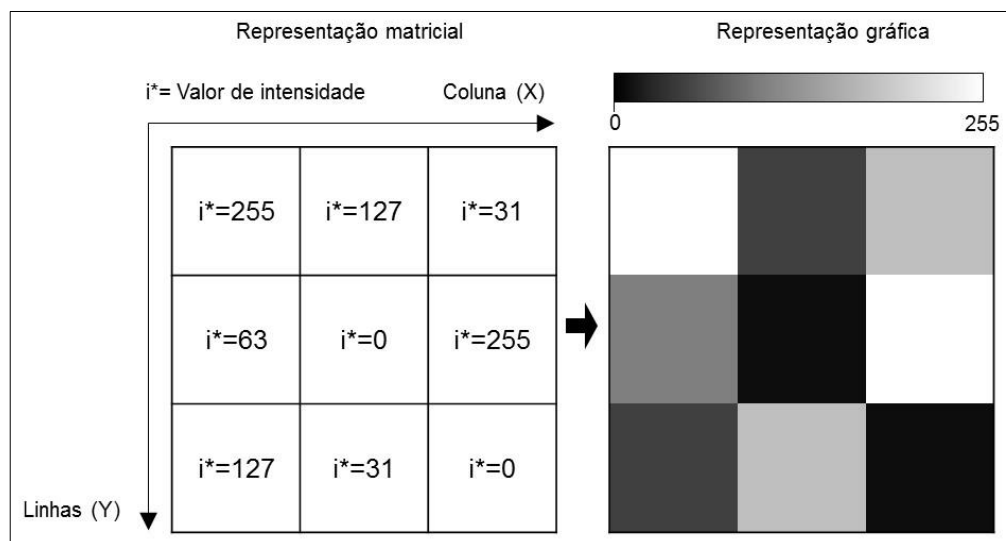


Figura 1. Estrutura exemplificada de uma imagem digital de 8bits (256 números digitais) em função da intensidade de luz refletida. A cor preta representa o valor 0 e a cor branca o valor 255. Fonte: Elaborada pelo autor.

Cada célula imageada por um sensor, ou seja, a área mínima limitada observada é denominada "pixel", o qual deve estar geograficamente situado, em latitude "y" e longitude "x", e quantificado em relação à intensidade de energia refletida em bandas do espectro eletromagnético (FIGUEIREDO, 2005).

O fornecimento de sua própria energia eletromagnética como fonte de iluminação para medição do fluxo radiante retroespalhado são características de um sensor ativo, como a aquisição de informações por Micro-ondas, Sonar ou LIDAR. Em contraponto, os sistemas de sensores remotos passivos, caracterizados pelo não fornecimento de sua própria energia eletromagnética, podem ser exemplificados pelos sensores suborbitais como câmeras métricas digitais (CCD); sensores em satélites como NOAA, MODIS, Landsat, Spot, Ikonos, Aster, QuickBird entre outros.

A Landsat 8, em órbita a partir do ano de 2013, se destaca como a última plataforma lançada, até o presente, com distribuição gratuita das imagens adquiridas por seu sensor (USGS, 2015). Cujo uso de seu produto é de significativa importância em estudos relacionados ao meio físico e suas dinâmicas.

Os produtos oriundos de sensores remotos presentes em satélites, quando submetidos a processamentos digitais, contribuem para avaliações temporais e espaciais, munidas de diversas aplicações e análises (LIU, 2006). Estes produtos podem subsidiar estudos voltados para monitoramentos de queimadas e desflorestamentos, além da confecção de mapas geomorfológicos, geológicos, de uso

e cobertura da terra, áreas agrícolas, áreas urbanas, bacias hidrográficas e expansão antrópicas, dentre outros.

3.6.1.1 Processamento digital de imagens

As etapas para o processamento digital de imagens podem ser divididas em pré-processamento, classificação e pós-processamento.

O pré-processamento é caracterizado por todo o procedimento aplicado na busca de um melhor refinamento e qualidade da imagem com a função de torná-la mais discriminante ao objetivo abordado (MOREIRA, 2011). Este procedimento é considerado como o tratamento inicial dos dados brutos como, entre muitos, a calibração radiométrica, atmosférica, correção geométrica e remoção do ruído (NOVO, 2002). Diversos autores buscam metodologias com propósito de tornar este procedimento automático, como observado nos trabalhos de Rouse et al. (1973), Chavez (1988), Shimabukuro e Smith (1991), Shimabukuro et al. (1998), Johnson e Wichern (1998), Song et al. (2001); Lu et al. (2004) e Chander et al. (2009).

O processo de classificação digital de imagens empregados em Sensoriamento Remoto parte da extração de informações na busca por reconhecer as áreas homogêneas e delinear as porções territoriais da superfície correspondentes aos objetos de interesse. Esse processo é realizado por meio da discriminação dos conjuntos de níveis de cinza com padrões espectrais semelhantes. A classificação digital de uma determinada matriz pode ser supervisionada, a qual conta com a coleta de amostra de pixels de cada classe de interesse, ou não supervisionada, onde o único critério a ser considerado, além do método classificador, refere-se às interações e número de categorias resultantes (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

O pós-processamento digital de imagem compreende a edição da classificação obtida com o objetivo de tornar o resultado mais próximo da realidade. Este procedimento conta com as etapas de refinamento por meio de integrações, substituições e remoções de classes. Essas possíveis alterações podem ser identificadas em reambulação a campo ou mesmo interpretação visual sobre a imagem, com a finalidade de melhorar a precisão do mapa temático (SPRING, 2015).

Os produtos gerados por processamentos digitais de imagens possuem grande importância para os estudos ambientais quando associados a outras ciências

geográficas, principalmente quanto a integração de bancos de dados geográficos em sistemas de informação geográfica (SIG).

3.6.2 Sistema de Informações Geográficas

Os sistemas de informações geográficas (SIGs) permitem a utilização conjunta de diversos dados geográficos e ferramentas da análise espacial. O SIG conta com bancos de dados relacionais, o qual possui a função de armazenar dados espaciais, atributos e relações existentes.

Na análise ambiental, as técnicas de análise exploratória tornam possível o agrupamento de similaridades, sugerindo a avaliação empírica das heterogeneidades espaciais, além de fornecer a descrição e visualização das distribuições e associações de agrupamentos espaciais (Carvalho, 1997).

Para estudos voltados para a suscetibilidade/fragilidade dos ambientes, os SIGs possuem função de quantificar e relacionar as diferentes unidades espaciais em função das atribuições da análise empírica. As operações de união, intersecção, somatório, média, dentre outras realizadas sobre mapas são consideradas álgebra de mapas e são obtidas sobre campos e objetos. Essas operações podem ser realizadas em ambiente SIG, a partir de ferramentas calculadoras de planos matriciais ou via programações de rotinas.

Ao se realizar uma álgebra de mapas sobre campos, o espaço geográfico é compreendido como uma superfície contínua com variante de fenômenos apresentadas por um atributo. As operações realizadas sobre objetos compreendem uma entidade com geometrias definidas, com perímetros visíveis (CÂMARA, 2005).

São diversos os trabalhos que utilizaram SIG na aplicação das metodologias propostas por Crepani et al (2001) e Ross (1994) com resultados profícuos. Dentre esses estudos: Ribeiro e Campos (2007) estudaram a Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo e Costa Neto (2010) realizou um mapeamento de vulnerabilidade natural à erosão como subsídio ao zoneamento ambiental em bacias hidrográficas com o uso de geoprocessamento.

4 ÁREA DE ESTUDO

4.1 Situação Geográfica

A área de estudo compreendeu a BH do Alto Camaquã, cuja área de drenagem é imposta pelos divisores de águas mais à montante na Bacia Hidrográfica do Rio Camaquã, região Centro-Sul do estado do Rio Grande do Sul, delimitada pelas coordenadas 54°8'23.45"O e 30°42'55.17"S à Noroeste e 53°30'52.00"O e 31°21'54.99"S à Sudeste.

A Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã abrange parcialmente os municípios de Bagé, Caçapava do Sul, Dom Pedrito, Hulha Negra, Lavras do Sul, Pinheiro Machado e Santana da Boa Vista somando um total de 5126 km². Os municípios de Bagé, Lavras do Sul, Caçapava do Sul e Pinheiro Machado se destacam com a presença de grande porção de seu território e ocupam grande percentual na bacia hidrográfica (HASENACK; WEBER, 2010) (Tabela 1). As principais vias de acesso para a área de estudo são as rodovias BR 392, BR 293 e BR 153 (Figura 2).

Tabela 1. Distribuição quantitativa dos municípios abrangentes à Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Município | Percentual do município na BH | Percentual da BH ocupado pelo município |
|----------------------|-------------------------------|---|
| Bagé | 48,8 | 39,0 |
| Caçapava do Sul | 26,5 | 15,7 |
| Dom Pedrito | 5,8 | 5,9 |
| Hulha Negra | 3,1 | 0,5 |
| Lavras do Sul | 49,4 | 25,1 |
| Pinheiro Machado | 20,7 | 9,1 |
| Santana da Boa Vista | 16,9 | 4,7 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

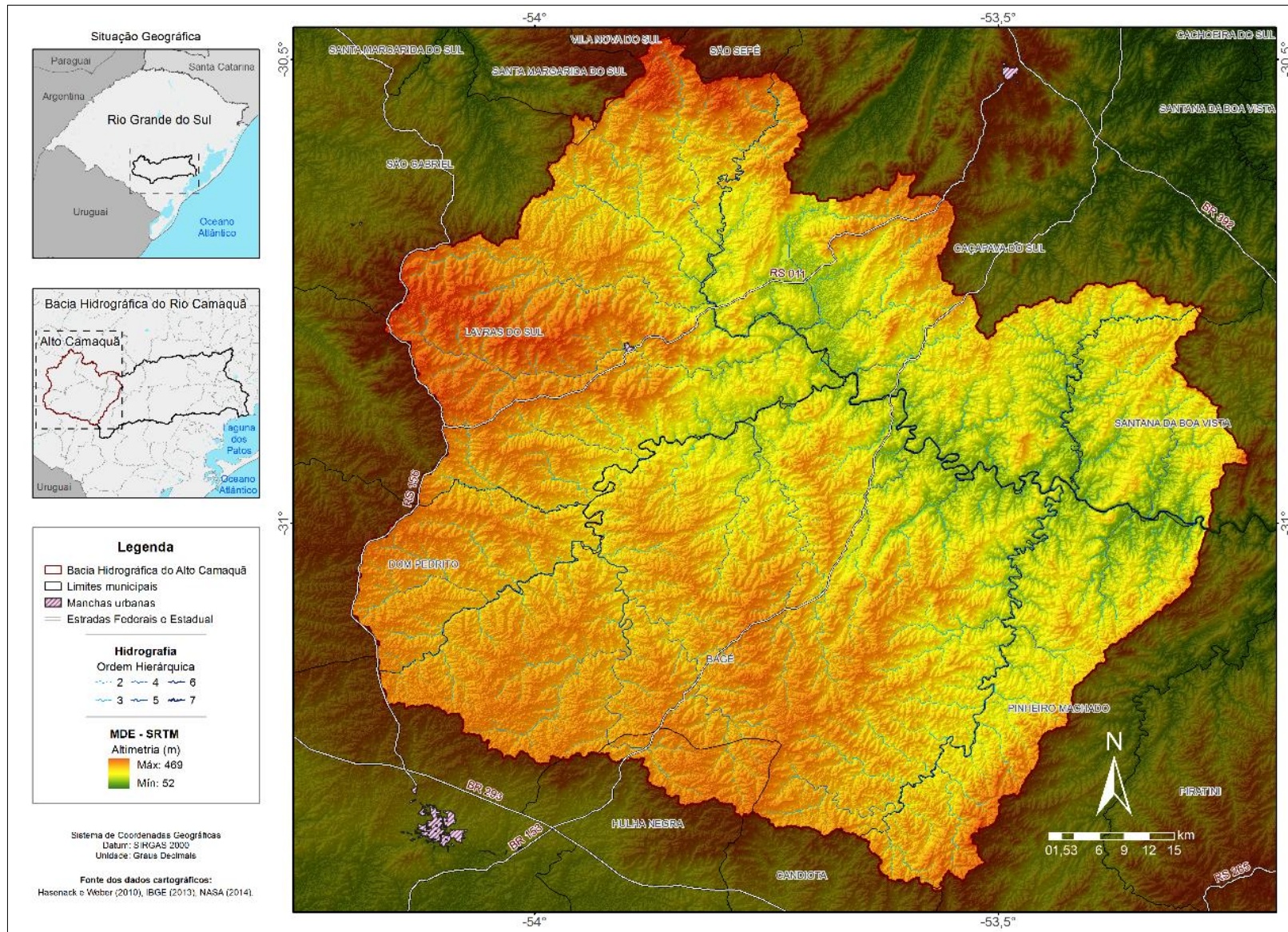


Figura 2. Localização da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã com ênfase na variação hipsométrica. Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Geologia

A área de estudo está localizada sobre a unidade geológica denominada Escudo Sul-Riograndense, formação geológica mais pretérita do Estado do Rio Grande do Sul com cerca de 65.000 km². Ao norte, oeste e sudoeste desta unidade situa-se a limítrofe unidade Bacia do Paraná e a leste a Bacia de Pelotas, oriundas do embasamento cristalino da era Pré-Cambriana (ZERFASS, 2003).

O Escudo cristalino Sul-Riograndense perfaz aproximadamente um terço do Estado do Rio Grande do Sul e seu arranjo litológico é constituído principalmente de composição granítica com agregações de rochas metamórficas (STRECK et al., 2008) entremeadas por composições areníticas e conglomerados variados.

A bacia Hidrográfica do Alto Camaquã possui, de acordo com o CPRM (2008), 40 classes geológicas das quais 14 classes ocupam aproximadamente 79% da área. Esse percentual é representado pelas classes Formação Varzinha, Suíte Granítica Campinas, Formação Pedra Pintada, Formação Hilário - Fácies Coerente, Formação Santa Tecla, Formação Hilário - Fácies Particulado, Formação Arroio Marmeleiro, Formação Arroio América, Complexo Granítico Gnaissico Bagé, Complexo Cambai - Dominio de Ortognaisses, Formação Rio Bonito, Formação Serra dos Lanceiros, Formação Santa Fé e Granito Jaguari. Aproximadamente 21% da área da bacia hidrográfica situa-se sobre 26 classes geológicas com menores representações (Tabela 2 e Figura 3).

Tabela 2. Classes geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (continua).

| Unidades Geológicas | Área (%) |
|----------------------------|----------|
| Depósitos aluviais | 1,90 |
| Formação Arroio América | 3,72 |
| Formação Passo da Promessa | 1,62 |
| Formação Santa Tecla | 5,60 |
| Formação São Rafael | 2,06 |
| Formação Taciba | 0,44 |

Tabela 2. Classes geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (continuação).

| Unidades Geológicas | Área (%) |
|---|--------------|
| Formação Serra dos Lanceiros | 3,38 |
| Complexo Metamórfico Vacacaí - Unidade Vulcano Sedimentar | 0,89 |
| Formação Palermo | 0,08 |
| Formação Rio Bonito | 3,43 |
| Formação Varzinha | 14,38 |
| Fácies Particulada | 0,85 |
| Formação Hilário - fácies Particulado | 4,83 |
| Formação Pedra Pintada | 7,30 |
| Formação Santa Fé | 3,35 |
| Formação Arroio Marmeleiro | 4,21 |
| Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira | 0,44 |
| Complexo Metamórfico Porongos - Unidade Vulcânica | 0,31 |
| Complexo Metamórfico Vacacai - Unidade Vulcanica | 0,04 |
| Fácies Básica | 0,01 |
| Formação Arroio Mudador | 0,39 |
| Formação Hilário - fácies Coerente | 6,10 |
| Formação Rodeio Velho | 1,83 |
| Suite Intrusiva Lagoa da Meia Lua | 2,63 |
| Complexo Cambai - Dominio de Ortognaisses | 3,56 |
| Complexo Metamórfico Porongo - Unidade Ortognaisse | 0,08 |
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Monzogranito | 1,09 |
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Monzonito | 0,65 |

Tabela 2. Classes geológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (conclusão).

| Unidades Geológicas | Área (%) |
|--|-----------------|
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Pertita Granito | 0,41 |
| Complexo Granítico Gnaissico Bagé | 3,58 |
| Formação Acampamento Velho | 0,15 |
| Granito | 0,37 |
| Granito Jaguari | 3,10 |
| Granito Ramada | 0,04 |
| Granito São Manoel | 1,27 |
| Granitóide Santana da Boa Vista - monzogranito | 0,01 |
| Granodiorito Fazenda do Posto | 0,29 |
| Monzogranito Santo Antonio | 1,16 |
| Suite Granítica Campinas - Granito Campinas | 12,54 |
| Complexo Metamórfico Porongos - Unidade Pelito Carbonática | 1,65 |

Fonte: CPRM (2008).

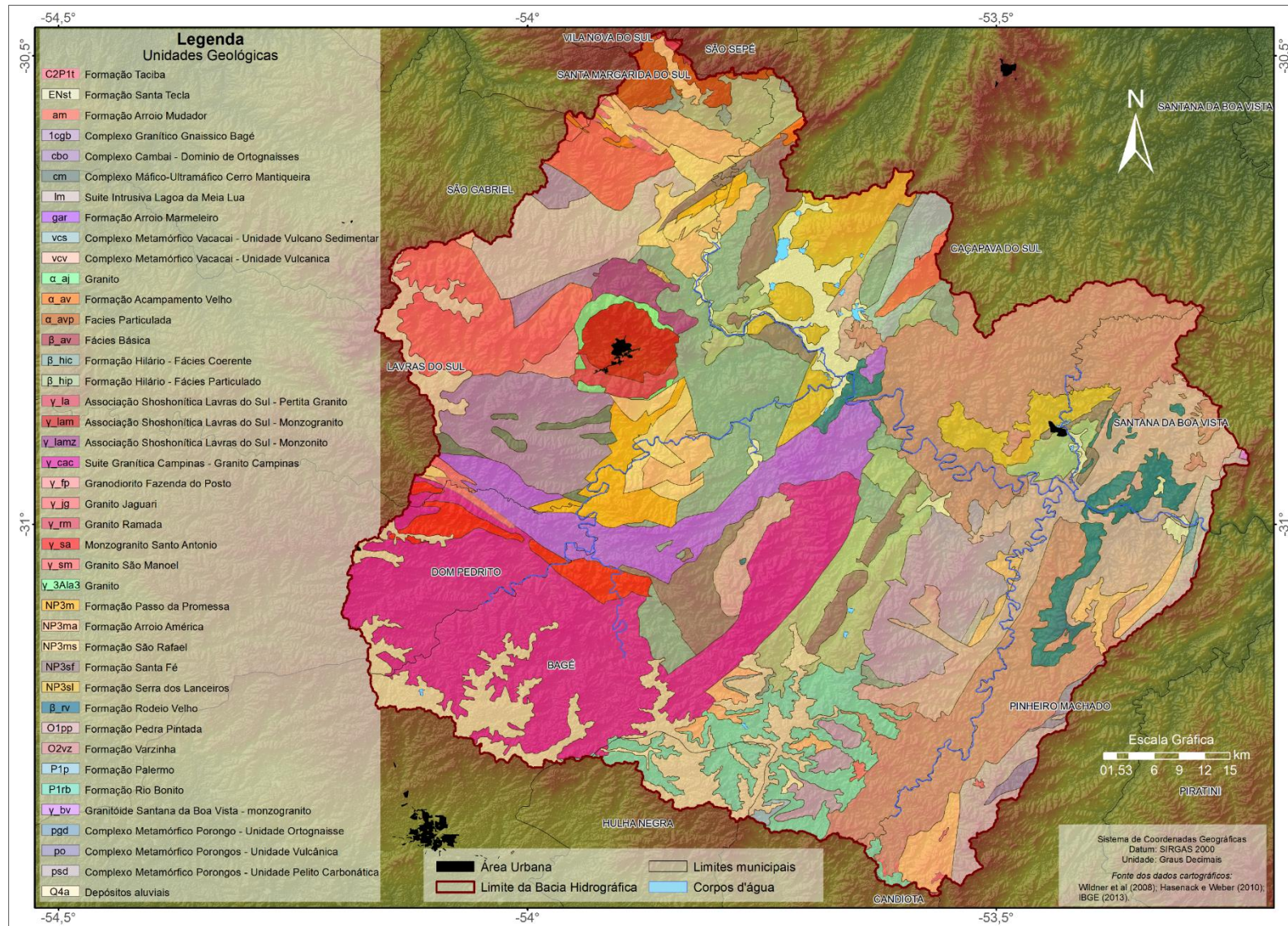


Figura 3. Mapa geológico da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Adaptado de Wildner et al (2008).

4.3 Geomorfologia

A Bacia do Alto Camaquã possui um relevo com bastante variação em consequência da heterogeneidade geomorfológica presente na mais antiga região do Estado do Rio Grande do Sul, denominada Escudo Cristalino Sul-Riograndense (NESKE, 2009).

De acordo com o plano de informações altimétricos SRTM (NASA, 2015) e das classes de formas de relevo da EMBRAPA (2009) a Bacia do Alto Camaquã possui um relevo predominantemente suave ondulado (34,8%) à ondulado (47,3%) (Tabela 3) com declividade média de aproximadamente 10,54%, com amplitude clinográfica de aproximadamente 134,47% a partir do relevo plano (0%) (Figura 4).

Tabela 3. Formas do relevo da área de estudo.

| Percentual de declividade | Relevo | Percentual de área |
|---------------------------|------------------|--------------------|
| 0-3 | Plano | 8,7 |
| 3-8 | Suave a ondulado | 34,8 |
| 8-20 | Ondulado | 47,3 |
| 20-45 | Forte Ondulado | 8,6 |
| 45-75 | Montanhoso | 0,7 |
| >75 | Escarpado | 0,01 |

Fonte: NASA (2015).

A porção Leste difere-se das demais por apresentar topografia acidentada na maioria da paisagem com grandes formações rochosas, denominada Formação Guaritas (NESKE, 2009). Segundo os dados altimétricos SRTM (NASA, 2015) o relevo desta área possui amplitude altimétrica máxima de 291,2 metros em relação à linha de base (Figura 5).

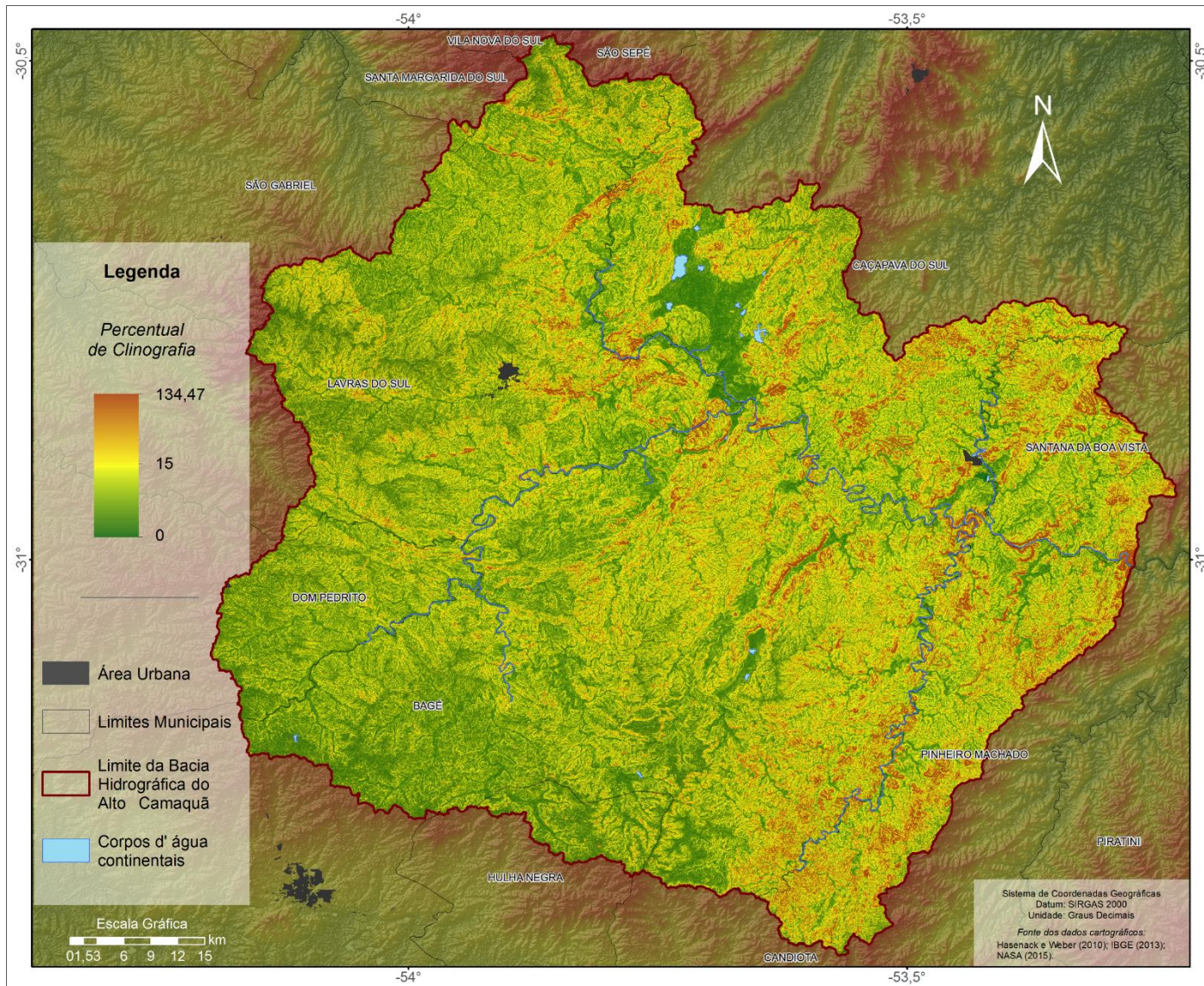


Figura 4. Declividade do relevo na área de estudo. Fonte: Elaborada pelo autor.

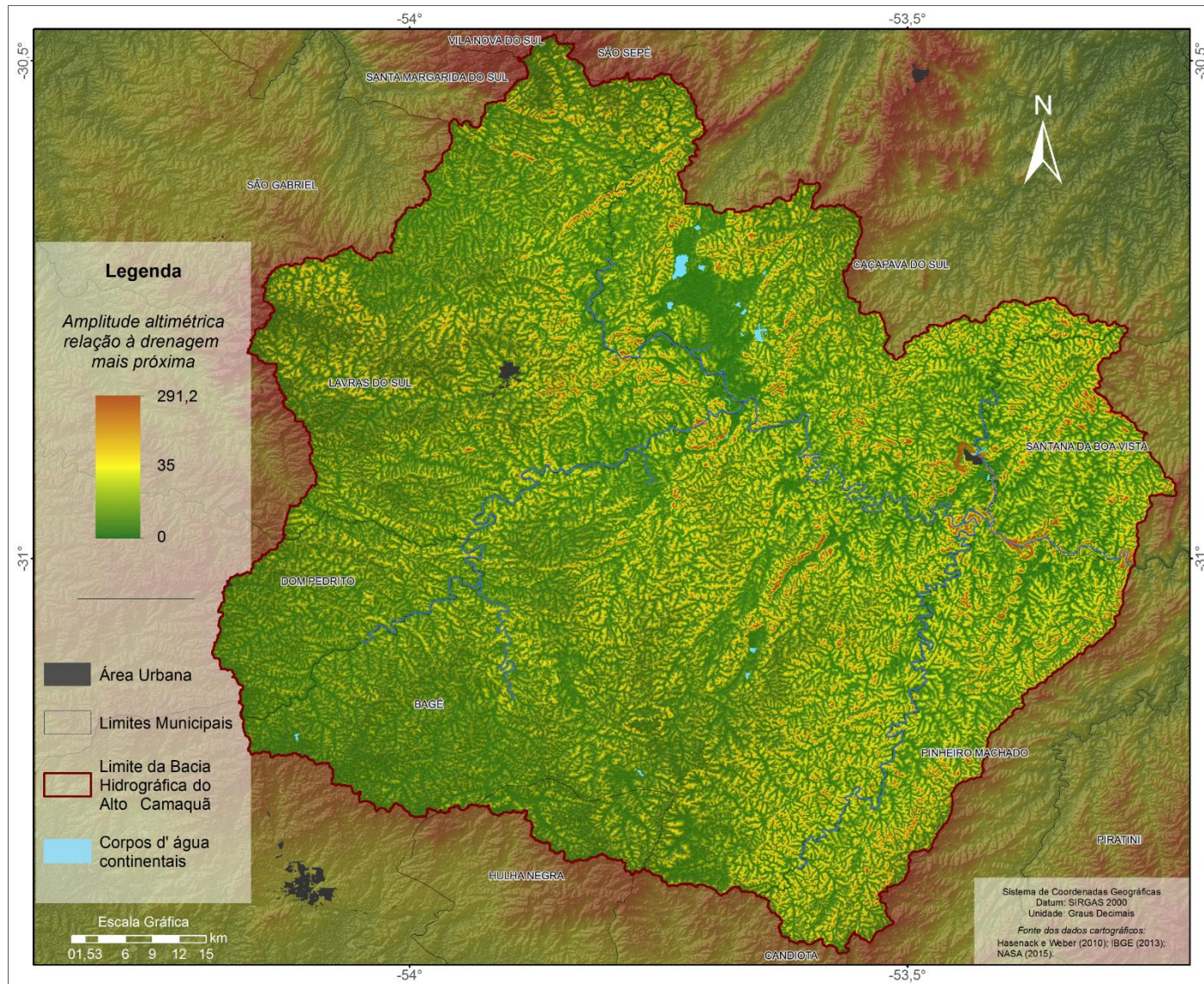


Figura 5. Amplitude altimétrica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

O granito é o mais decisivo elemento responsável pela constituição da paisagem da Serra do Sudeste, onde localiza-se a Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (RAMBO, 1956),

A geomorfologia da área de estudo, em geral, é composta pelos domínios geomorfológicos Planície Alúvio-coluvionar, Depressão do Rio Ibicuí, Planalto Rebaixado Sul-Riograndense e Planalto Residual Sul-Riograndense (IBGE, 2003) (Tabela 4 e Figura 6)

Tabela 4. Distribuição das unidades geomorfológicas na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Unidade Geomorfológica | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| Planícies Alúvio-coluvionares | 68,77 | 1,34 |
| Depressão do Rio Ibicuí | 177,24 | 3,46 |
| Planalto Rebaixado Sul-Riograndense | 3093,23 | 60,34 |
| Planaltos Residuais Sul-Riograndenses | 1775,62 | 34,64 |

Fonte: IBGE (2012a).

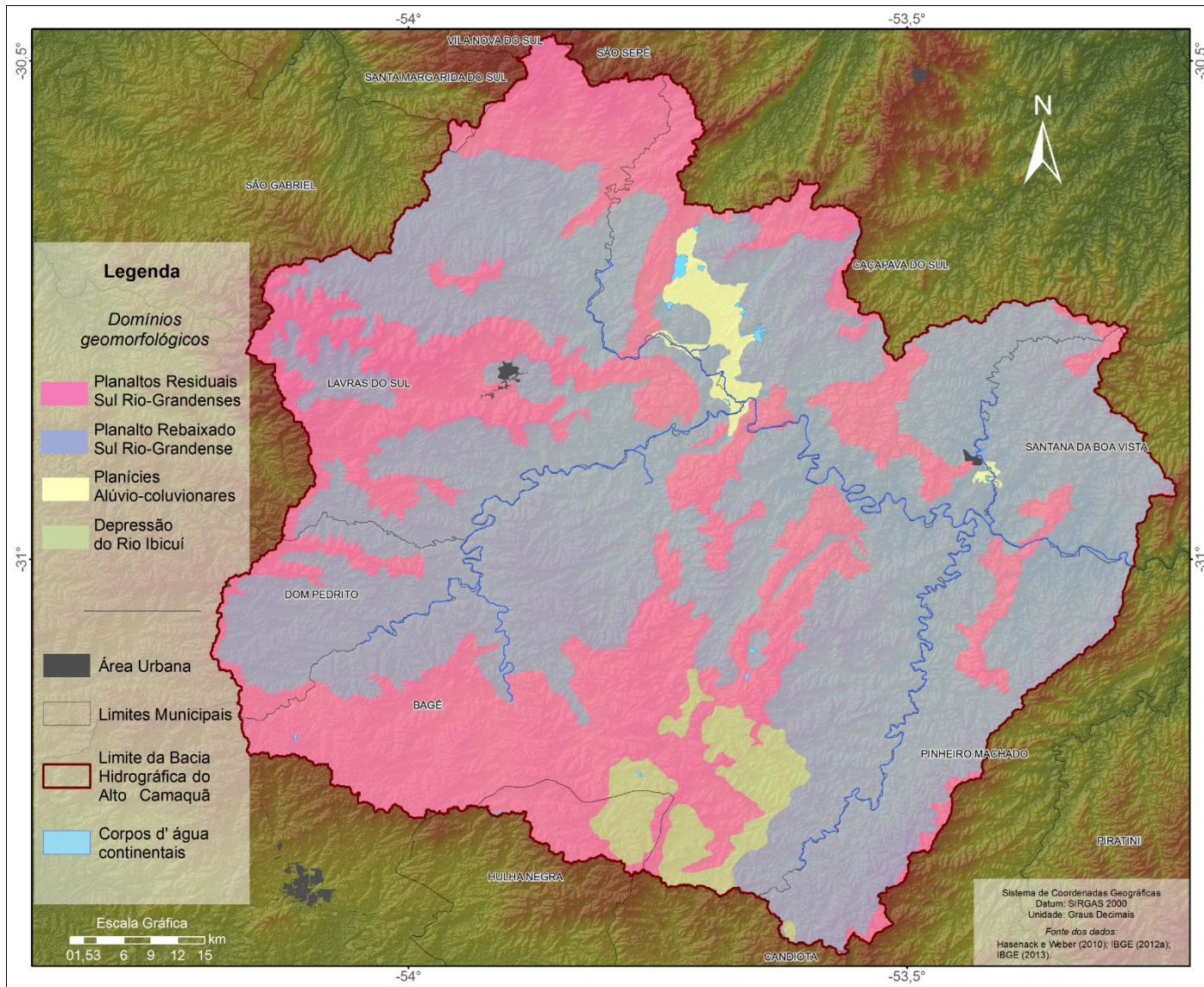


Figura 6. Mapa geomorfológico presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Adaptado de IBGE (2012a).

4.3.1 Planícies Alúvio-coluvionares

A Planície Alúvio-Coluvionar compreende a borda oeste da Planície Gaúcha limítrofe à unidade de relevo Planalto Sul-Riograndense. Compõe uma superfície descontínua de plana a pouco inclinadas (HERRMANN; ROSA, 1990).

Os modelados de aplanamento ocorrem próximo desta unidade, em uma área relativamente pequena da bacia hidrográfica, onde situam-se planícies fluviais com predisposição a erosão muito forte próximos ao Rio Camaquã. Os terraços fluviais presentes são caracterizados pela deposições fluviais e alterações no escoamento e nos processos erosivos, responsáveis pela alta suscetibilidade a erosão (IBGE, 2003).

4.3.2 Depressão do Rio Negro

As rochas sedimentares presentes na unidade geomorfológica Depressão do Rio Negro definem uma dissecação mais homogênea predominantemente fluvial com padrão de formas planas com coxilhas independentes (GOFFERMANN, 2013).

A depressão foi delineada em rochas sedimentares da Bacia do Paraná como folhelhos, argilitos e siltitos, de composição fina. O compartimento desta unidade na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã é modelado por um relevo de baixas colinas cobertas por amplas planícies aluviais. Este relevo é muito dissecado, configurado pela impermeabilidade das rochas e dos solos. A amplitude altimétrica desta região varia entre 100 e 200 m (CPRM, 2010).

4.3.3 Planalto Rebaixado Sul-Riograndense

O Planalto Rebaixado Sul-Riograndense é a unidade que se destaca com o maior percentual na Bacia do Alto Camaquã, caracterizado pela predisposição a erosão de médio a muito forte. A falta de padrão estrutural nos modelados de dissecação fluvial converge para a suscetibilidade a erosão desta região. Esta unidade apresenta formas de relevo de topos convexos, geralmente entalhadas por rochas cristalinas e sedimentos, além da presença de topos estreitos e alongados (IBGE, 2003).

4.3.4 Planalto Residual Sul-Riograndenses

O planalto residual Sul-Riograndense assim como os planaltos rebaixados, também possui modelados de dissecação com relevo de topos convexos e topos

estreitos e alongados. Todavia esta unidade apresenta menor suscetibilidade à erosão, que alterna em fraca e média predisposição (HERRMANN; ROSA, 1990).

4.4 Solos

Os solos predominantes na Bacia do Alto Camaquã são pedregosos com afloramentos rochosos, compreendido em relevo ondulado a fortemente ondulado (Neske, 2009), suscetíveis à erosão, atribuindo amplas restrições ao uso agrícola. Possui, em grande parte, solos rasos apresentando alta restrição para silvicultura FEPAM (2007), no entanto de acordo com os dados do IBGE (2014) o cultivo desta natureza está cada vez mais intenso na região.

Conforme as informações contidas na base de dados pedológicos utilizada (IBGE, 2012b), a Bacia do Alto Camaquã possui mais da metade de sua área abrangida pela classe pedológica Neossolo Litólico Eutrófico (52,91%), seguida da classe Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (18,85%) e um conjunto de outras classes menos representativas de Neossolos, Chernossolos, Argissolos, Planossolos e Luvisolos totalizando 28,02% de sua área total (Tabela 5 e Figura 7).

Tabela 5. Classes pedológicas presentes na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Classe de solo | Área (%) |
|---------------------------------------|----------|
| Neossolo Litólico Distrófico | 8,42 |
| Neossolo Litólico Distro-Úmbrico | 2,22 |
| Neossolo Litólico Eutrófico | 52,91 |
| Chernossolo Ebânico Carbonático | 0,01 |
| Chernossolo Ebânico Órtico | 4,07 |
| Chernossolo Argilúvico Órtico | 0,23 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico | 18,85 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico | 1,49 |
| Argissolo Vermelho Distrófico | 5,83 |
| Planossolo Háptico Eutrófico | 1,26 |
| Luvisolo Crômico Pálico | 3,41 |
| Luvisolo Háptico Órtico | 1,08 |

Fonte: IBGE (2012b).

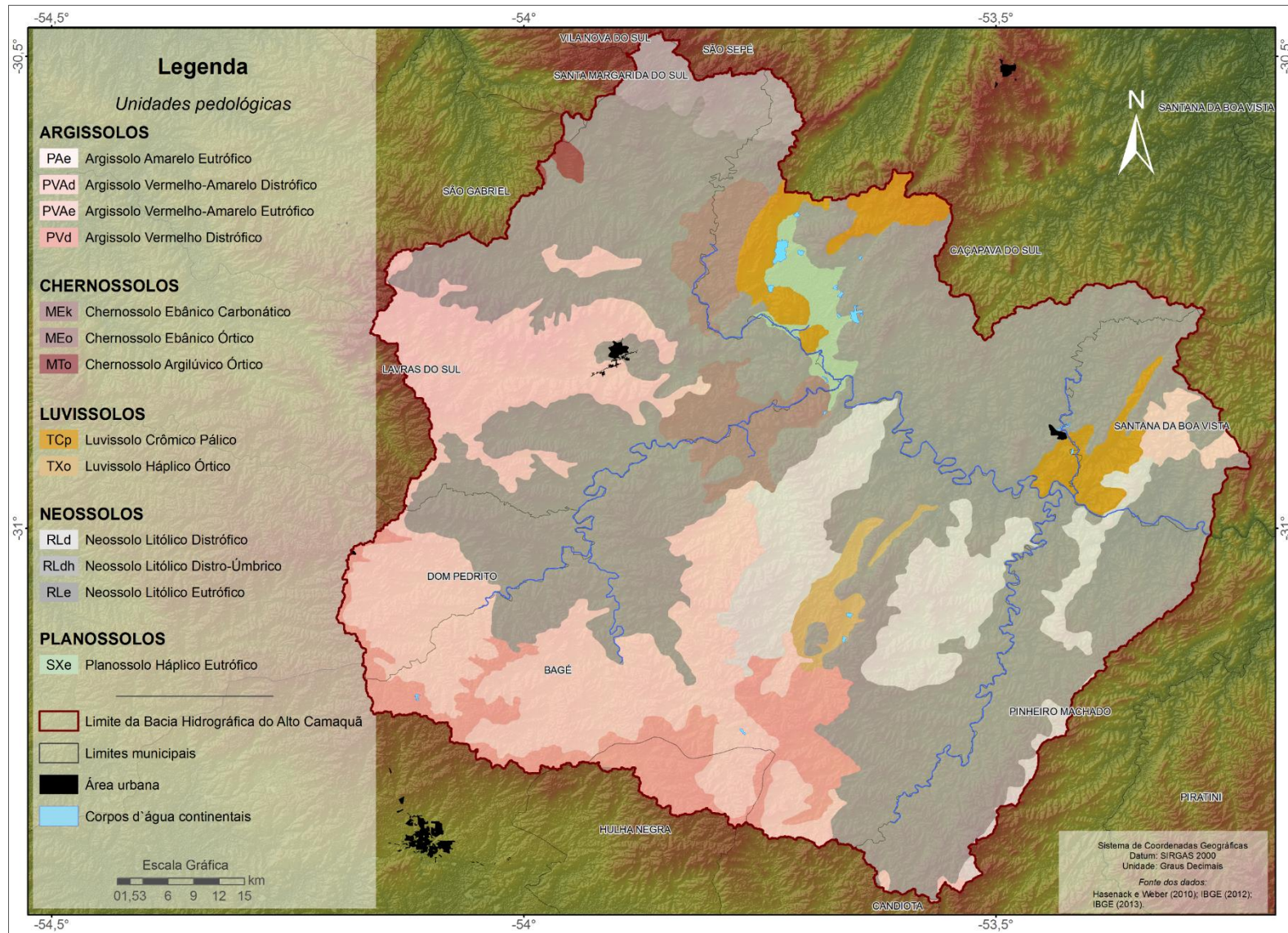


Figura 7. Mapa pedológico da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Adaptado de IBGE (2012b).

Segundo Flores et al. (2015) os neossolos são pouco evoluídos, compostos por materiais minerais ou orgânicos, rasos, apresentando menos de 20 cm de espessura, não proporcionando horizonte B. Em ambientes mais declivosos possuem restrições para utilização de agricultura mecanizada e forte suscetibilidade aos processos erosivos.

Os Chernossolos variam de solos pouco profundos a profundos, apresentando suscetibilidade aos processos erosivos pela presença de horizonte subsuperficial B textural ou de horizonte com caráter argilúvico. Estes tipos de solos com texturas mais leves ou solos mais argilosos sem alto gradiente textural são normalmente mais porosos, com boa permeabilidade, sendo menos suscetíveis à erosão (EMBRAPA, 2006).

De acordo com Embrapa (2006), os argissolos contam com diferentes infiltrações entre os horizontes superficiais e subsuperficiais devido sua relação textural, havendo, assim, limitações atribuídas a suscetibilidade à erosão.

Os planossolos são solos desenvolvidos em planícies ou depressões com encharcamento estacional, também considerados como solos de várzea (FLORES et al., 2015). Apesar do excesso de água, a ocorrência deste tipo de solo somente em relevo plano ou suave ondulado, onde os processos erosivos possuem uma menor ação do vetor gravitacional.

Normalmente os Luvisolos variam de bem a imperfeitamente drenados, sendo normalmente pouco profundos (60 a 120cm), de tonalidade avermelhada ou amarelada, com estrutura desenvolvida e alta fertilidade (BATISTA et al., 2014).

4.5 Cobertura vegetal

A bacia do Alto Camaquã está situada, em sua totalidade, sobre o Bioma Pampa. Este ambiente é representado por um agrupamento de vegetação arbustiva e campestre, campos limpos e sujos (OVERBECK, 2009), sob condições climáticas e geológicas excepcionais, revelando, assim, uma combinação de elementos abióticos (rochas, solo, clima, relevo) e uma diversidade biológica de fauna e flora, responsáveis pela paisagem presente.

Segundo Marchiori (2004), a vegetação se caracteriza pela existência de savana gramíneo-lenhosa, floresta estacional semidecidual e pequenas frações de floresta ombrófila mista. Nesse compartimento territorial predominam 11 formações

vegetais: campo limpo, campo sujo, vassourais, matinhas subarborescentes, mato arborescente, matos de parque, capões, matos de galeria, mata virgem, capoeira e palmares (RAMBO, 1956).

De acordo com Hasenack e Cordeiro (2006), configuram-se as formações herbáceo-arbustiva nativa com uso pecuário e floresta nativa, característico da paisagem da Serra do Sudeste, incidindo sobre solos rasos e afloramento rochosos.

Estas características da paisagem particular no Alto Camaquã configuram um amplo patrimônio natural e histórico-cultural a ser preservado (FIGUEIRÓ et al., 2011).

De acordo Picolli e Schnadelbach (2007) restam somente 39% da vegetação campestre e banhados naturais do Bioma Pampa. Estima-se que cerca de 5 milhões de hectares desta cobertura vegetal tenham sido convertidas em uso agrícola. A produção silvícola é realizada em grandes extensões, em sistema de monocultura, contribuindo expressivamente para a redução da biodiversidade (FIGUEIRÓ et al., 2011). Todas essas alterações que vem ocorrendo no Bioma Pampa refletem conseqüentemente, na paisagem do Alto Camaquã.

A região é considerada a mais rica em relação a biodiversidade do Estado do Rio Grande do Sul, constituída por um complexo vegetal que serve de amparo para espécies da fauna e flora extintas ou raras (SEPLAG, 2009).

A manutenção da biodiversidade também se faz presente na paisagem da Bacia do Alto Camaquã a partir de atividades fundamentadas no modelo da agricultura familiar. Este modelo de produção apresenta mínima dependência externa dos sistemas de produção e conta com o uso de fontes renováveis, permitindo a conservação da diversidade biológica e cultural (RIBEIRO; BALDASSO, 1998).

4.6 População e economia

A população presente nos municípios integrantes da Bacia do Alto Camaquã é de 224.126 habitantes (Tabela 6). Todavia, de acordo com a Tabela 1 os municípios são parcialmente presentes na BH, principalmente com ocupação rural exceto o município de Lavras do Sul que possui seu distrito sede interno à área de estudo (Figura 2). De acordo com IBGE (2010) toda área rural dos municípios quantificados junto a área urbana de Lavras do Sul totaliza 49.280 habitantes (Tabela 6)

Tabela 6. Distribuição demográfica dos municípios integrantes da BH do Alto Camaquã.

| Município | População Urbana | População Rural | Total |
|----------------------|-------------------------|------------------------|----------------|
| Bagé | 97.765 | 19.029 | 116.794 |
| Caçapava do Sul | 25.410 | 8.280 | 33.690 |
| Dom Pedrito | 35.255 | 3.643 | 38.898 |
| Hulha Negra | 2.909 | 3.134 | 6.043 |
| Lavras do Sul | 4.758 | 2.921 | 7.679 |
| Pinheiro Machado | 9.784 | 2.996 | 12.780 |
| Santana da Boa Vista | 3.723 | 4.519 | 8.242 |
| Total | 179.604 | 44.522 | 224.126 |

Fonte: IBGE (2010).

A configuração da paisagem da Bacia do Alto Camaquã restrita às atividades agrícolas colaborou para o processo de formação da identidade deste território, o que viabilizou a produção pecuária desde o início de sua ocupação.

Com o propósito de atribuir a ocupação, a coroa portuguesa fragmentou e distribuiu o território em Sesmarias para, primeiramente, militares e tropeiros, consolidando a criação extensiva de gado (PESAVENTO, 1997).

Atualmente, a estrutura produtiva do setor agropecuário dos municípios presentes na Bacia do Alto Camaquã ainda tem a pecuária de corte extensiva como a principal atividade juntamente com determinados cultivos agrícolas (IBGE, 2014). De acordo com IBGE (2014), os rebanhos mais representativos nos estabelecimentos agropecuários são os bovinos de corte e ovinos. A criação de Equinos, suínos, caprinos e galináceos também é desenvolvida, porém, com menor representatividade.

A agricultura dos municípios apresenta grande expressividade no cultivo de lavouras temporárias de Soja, com 152.000 ha plantados no ano de 2014. A cultura de Arroz irrigado também se destaca, principalmente no município de Dom Pedrito com 71% da produção total dos municípios da BH. Em menor representação surge as culturas de Trigo e Milho (IBGE, 2014).

Os municípios de Hulha Negra e Pinheiro Machado são os que possuem a menor área plantada de cultura temporária dentre os municípios da BH do Alto Camaquã (IBGE, 2014).

O território da Bacia do Alto Camaquã está na rota de aquisições das empresas florestais de capital estrangeiro, originando a mercantilização do próprio espaço agrário (NESKE, 2009).

A implantação da silvicultura pelas empresas florestais no Alto Camaquã estrutura a entrada de um novo elemento produtivo para os municípios. O município de Pinheiro Machado possui a maior porção de árvores exóticas plantadas em 2014 com 4.161.000 árvores (IBGE, 2014). Os municípios da BH do Alto Camaquã contabilizam juntos 8.787.000 pés de árvores plantados em 2014.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa bibliográfica é o estudo de toda a bibliografia publicada, por meio de livros, revistas, publicações digitais e impressas (GIL, 2002). O seu intuito é fazer com que o pesquisador tenha contato direto com o material documentado a respeito de um determinado assunto, subsidiando o na análise de pesquisas ou suas informações. Ela pode ser considerada como o primeiro passo de toda a pesquisa científica (LAKATOS; MARCONI, 1992).

Na pesquisa bibliográfica foram consultadas diversas literaturas referentes ao assunto em estudo, livros e artigos publicados na internet possibilitando que este trabalho tomasse forma para ser fundamentado.

Este trabalho transcorreu no período dos anos 2014 e 2015 contando com o apoio e suporte recebido do Laboratório de Planejamento Ambiental (LABPLAM) da Embrapa Clima Temperado, na disponibilização dos softwares licenciados, equipamentos e demais materiais utilizados, além de contribuições nas análises de dados e fases de trabalhos de campo.

Tendo como base as metodologias de Crepani et al. (2001), foi realizada a integração dos dados temáticos, analisando os temas dos pontos de vista físico e antrópico.

O trabalho consistiu inicialmente na análise individual de cada uma das informações contidas nos mapas temáticos. Assim, foram analisados e classificados, de acordo com os padrões metodológicos de Crepani et al. (2001), os temas: geologia, geomorfologia, pedologia e uso e cobertura da terra do ano de 2015 para a Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

O déficit de informações climáticas sobre a área de estudo, devido à ausência de estações de monitoramento, inviabilizou a análise deste tema. A tomada de decisão por não utilizar o tema é justificada pela imprecisão e possíveis super ou subestimação dos valores resultantes da utilização de dados externos interpolados.

A partir dos temas classificados de pedologia, geologia e geomorfologia procedeu-se então a análise dos elementos físicos da paisagem para a avaliação da resistência ao processo natural de erosão (estabilidade ou suscetibilidade) (Tabela 7). Foram adicionadas, ainda, informações de uso e cobertura da terra, gerando um plano de informações de suscetibilidade ambiental à erosão.

Com base na metodologia proposta por Crepani et al. (2001), as unidades foram classificadas de modo que as classes com valores entre 10 a 13,9 foram definidas como estáveis, as que apresentaram valores de 14 a 17,9 foram classificadas de moderadamente estável. Os valores no intervalo de 18 a 22,9 definiram a classe de medianamente estável/suscetível, os valores entre 23 a 26,9 determinaram a classe de moderadamente suscetível e, por fim, as unidades com valores entre 27 a 30 foram classificadas de suscetíveis.

Tabela 7. Valores de suscetibilidade à erosão de acordo com a relação pedogênese/morfogênese.

| Unidades | Relação morfogênese/pedogênese. | Valor |
|---------------------|---|-------|
| Estável | Prevalece a pedogênese | 10 |
| Intermediária | Equilíbrio entre pedogênese e morfogênese | 20 |
| Instável/suscetível | Prevalece a morfogênese | 30 |

Fonte: Crepani et al. (1996) modificada de Tricart (1977).

Para o presente trabalho foram empregados os seguintes procedimentos metodológicos (Figura 8):

- A) Mapeamento da suscetibilidade à erosão para Unidades Geológicas presentes na Bacia do Alto Camaquã;
- B) Caracterização dos níveis de Suscetibilidade à erosão para a Geomorfologia da Bacia do Alto Camaquã;
- C) Determinação da Suscetibilidade à erosão para os solos presentes na Bacia do Alto Camaquã;
- D) Geração das informações de suscetibilidade à erosão por meio da integração dos temas físicos da Bacia do Alto Camaquã;
- E) Identificação dos tipos de uso e cobertura da terra atuais e classificação destes de acordo com o grau de Suscetibilidade à erosão para a Bacia do Alto Camaquã;
- F) Mapeamento da Suscetibilidade à erosão a partir de aspectos físicos e antrópicos contemporâneos na Bacia do Alto Camaquã;
- G) Análise dos resultados.

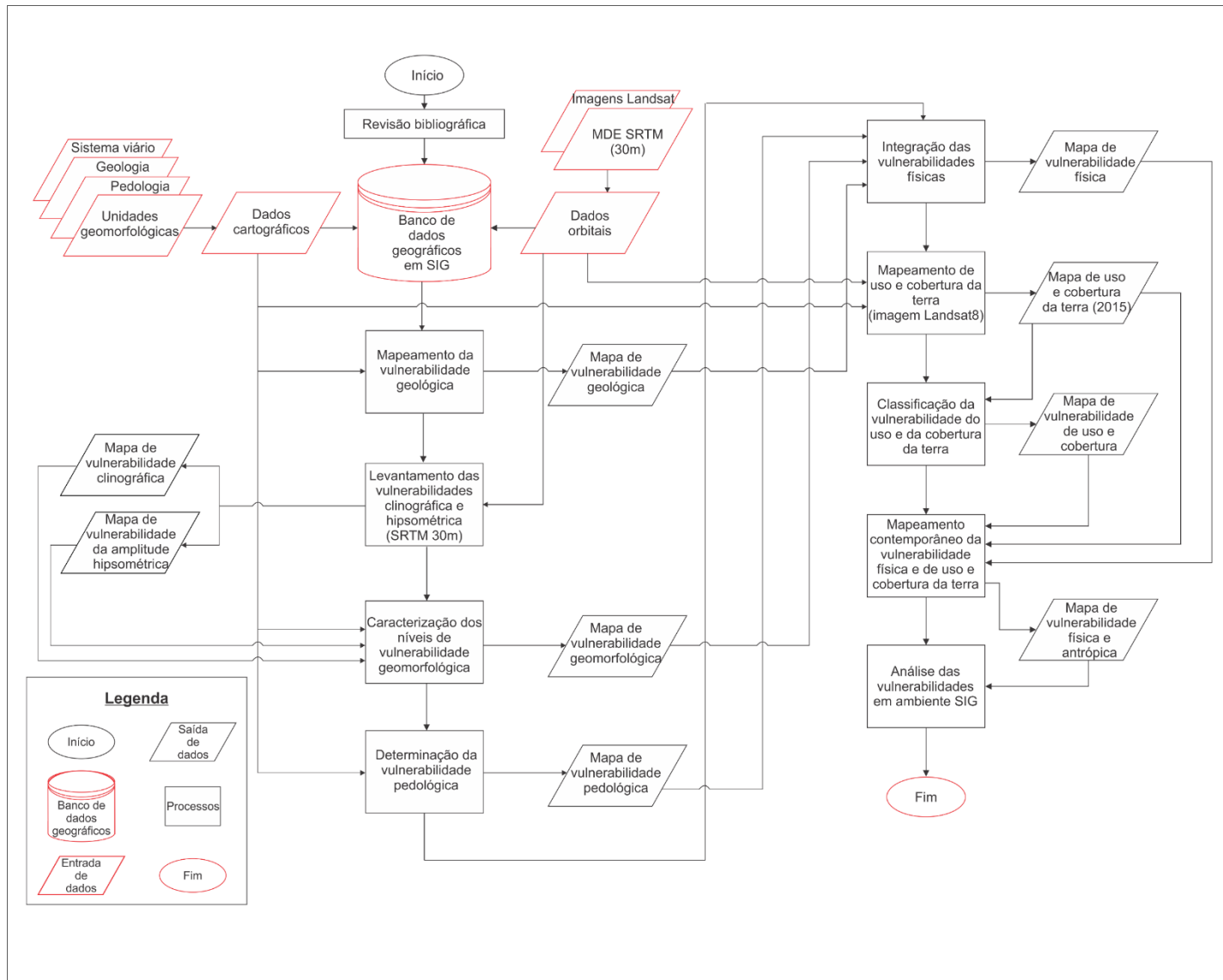


Figura 8. Fluxograma dos procedimentos metodológicos e seus resultados. Fonte: Elaborada pelo autor.

5.1 Procedimentos metodológicos

5.1.1. Caracterização dos níveis de Suscetibilidade à erosão das Unidades Geológicas presentes na Bacia do Alto Camaquã.

Segundo Crepani et al. (2008) a contribuição da geologia para estudos da morfodinâmicas é dada pela evolução geológica histórica do meio e pelo grau de coesão de suas rochas.

Para o mapeamento da suscetibilidade à erosão das unidades geológicas, foram utilizadas informações disponibilizadas pelo CPRM (WILDNER et al., 2008), mapeamento do Estado do Rio Grande do Sul em escala 1:750.000, recortadas para a área da Bacia Hidrografica do Alto Camaquã. Para cada unidade geológica desse plano de informações foi atribuído um valor de suscetibilidade de acordo o grau de coesão das rochas predominantes (CREPANI et al., 2001) (Tabela 8).

Tabela 8. Valores de suscetibilidade à coesão das rochas.

| Rochas | Vuln. | Rochas | Vuln. | Rochas | Vuln. |
|-------------------------------|-------|---|-------|--|-------|
| Quartzitos ou metaquartzitos | 10 | Milonitos, quartzo, muscovita, biotita, | 17 | Arenitos quartzosos | 24 |
| Riolito, granito, dacito | 11 | Piroxenito, anfíbolito, dunito | 18 | Conglomerados | 25 |
| Grandiorito, quartzo diorito, | 12 | Hornblenda, tremolita, actinolita | 19 | Grauvacas, arcózios | 26 |
| Migmátitos, gnaisses | 13 | Xistos granatíferos | 20 | Siltitos, argilitos | 27 |
| Fonólito, sienito | 14 | Filito, metassiltito | 21 | Folhelhos | 28 |
| Andesito, diorito, basalto | 15 | Ardósia, metargilito | 22 | Calcários, dolomitos, margas, evaporitos | 29 |
| Anortosito, gabro, peridotito | 16 | Mármore | 23 | Sedimentos inconsolidados | 30 |

Fonte: Crepani et al. (1996)

As unidades geológicas com rochas que representam maior grau de coesão foram classificadas como de estáveis (10), assim como unidades que apresentam rochas com valores intermediários como medianamente suscetível/estável (20) e suscetível (30) aquelas que apresentarem rochas com baixo grau de coesão.

5.1.2 Determinação da Suscetibilidade à erosão da Geomorfologia da Bacia do Alto Camaquã.

O mapeamento da Suscetibilidade à erosão do plano de geomorfologia foi elaborado com base nas informações de unidades geomorfológicas disponibilizados pelo IBGE (2012a) em escala 1:250.000 referentes a parte das cartas São Gabriel, Bagé, Cachoeira do Sul e Pedro Osório, MI: SH21zb, SH21zd, SH22ya e SH22yc respectivamente, e dos índices morfométricos de relevo, hipsometria e clinografia.

Para a obtenção dos parâmetros morfométricos da BH do Alto Camaquã foram utilizados os PIs altimétricos SRTM disponibilizados por NASA (2015) com resolução espacial de 30 metros. Em ambiente SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013), foi realizado um mosaico destes dados SRTM.

5.1.2.1 Amplitude Hipsométrica

Para o mapeamento da amplitude altimétrica foi utilizado o modelo *HAND* (Height Above the Nearest Drainage) do método proposto por Rennó et al. (2008), o qual obtém do Modelo Digital de Elevação (MDE) a distância vertical de cada pixel em relação à drenagem mais próxima, ou seja, indica a altura de uma determinada localização geográfica, não em relação ao nível do mar, mas em relação ao ponto da rede de drenagem mais próxima. Este procedimento foi realizado por meio da extensão *Hand_grid* (RENNÓ et al., 2008) do *software ENVI 5.2 (Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado)*.

Inicialmente foi realizada a correção do MDE SRTM (NASA, 2015), que conta com o ajuste de possíveis inconsistências nos dados altimétrico originais mosaicados. Em seguida foram gerados os planos matriciais de direção de fluxo (Figura 9a), fluxo acumulado (Figura 9b) e Distância vertical em relação a drenagem mais próxima a substituição dos pixels da rede de drenagem para o valor zero e também a alteração do valor de cada célula para a amplitude em relação à drenagem mais próxima. (Figura 9d).

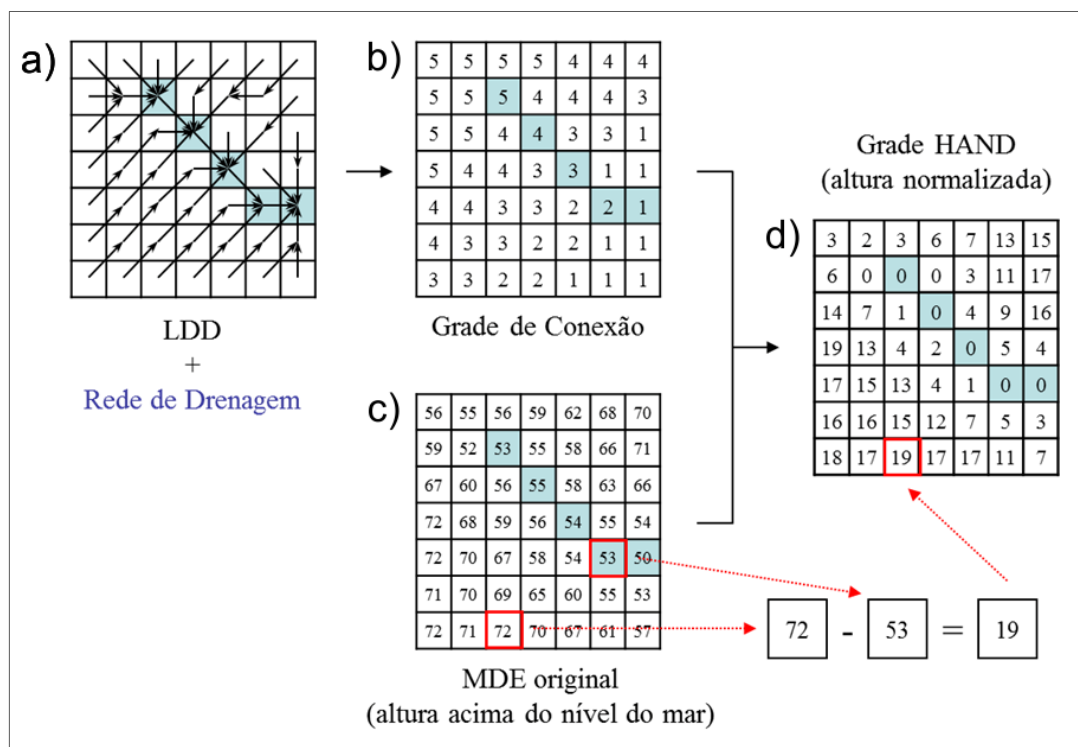


Figura 9. a) Direção de fluxo; b) Fluxo acumulado/drenagem; c). MDE original com remoção de possíveis anomalias; d). Amplitude altimétrica em relação à drenagem mais próxima. Fonte: Rennó et al. (2008).

As informações de amplitude altimétrica foram reclassificadas em intervalos de suscetibilidade à erosão de acordo com metodologia proposta por Crepani et al. (2001) (Tabela 9).

Tabela 9. Suscetibilidade à erosão de acordo com o intervalo de amplitude altimétrica.

| Amplitude (m) | Vuln. | Amplitude (m) | Vuln. | Amplitude (m) | Vuln. |
|---------------|-------|---------------|-------|---------------|-------|
| <20 | 10 | 77-84,5 | 17 | 141,5-151 | 24 |
| 20-29,5 | 11 | 84,5-94 | 18 | 151-160,5 | 25 |
| 29,5-39 | 12 | 94-103,5 | 19 | 160,5-170 | 26 |
| 39-48,5 | 13 | 103,5-113 | 20 | 170-179,5 | 27 |
| 48,5-58 | 14 | 113-122,5 | 21 | 179,5-189 | 28 |
| 58-67,5 | 15 | 122,5-132 | 22 | 189-200 | 29 |
| 67,5-77 | 16 | 132-141,5 | 23 | >200 | 30 |

Fonte: Crepani et al. (2001).

5.1.2.2 Clinografia

Primeiramente, foram eliminados os possíveis *sinks* dos dados altimétricos SRTM, que consiste no preenchimento de pequenas depressões que possam ser originadas, indevidamente, no processo de montagem do MDE.

Em ambiente SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013), a partir do mosaico dos dados SRTM foi gerado o mapa clinográfico por meio da relação entre a distância vertical e a distância horizontal entre cada dois pixels (tangente = cateto oposto/cateto adjacente). As informações de declividade resultantes foram reclassificadas em cinco intervalos de suscetibilidade à erosão, segundo Crepani et al. (2001) (Tabela 10).

Tabela 10. Suscetibilidade à erosão de acordo com o intervalo de declividade.

| Classes morfométricas | Declividade | Valores de suscetibilidade |
|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Estável | <2 | 10 |
| Moderadamente estável | 2-6 | 15 |
| Medianamente estável/vuln. | 6-20 | 20 |
| Moderadamente suscetível | 20-50 | 25 |
| Suscetível | >50 | 30 |

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001).

5.1.2.3 Unidades Geomorfológicas

Para o mapeamento da suscetibilidade à erosão das unidades geomorfológicas, as informações disponibilizadas pelo IBGE (2012a), em escala 1:250.000, foram recortadas para a área da Bacia do Alto Camaquã. Para cada campo desse plano de informações foi atribuído um valor de suscetibilidade de acordo com Crepani et al. (2001) (Tabela 11).

Tabela 11. Suscetibilidade à erosão de acordo com unidades geomorfológicas.

| Classes morfométricas | Unidades Geomorfológicas | Valores de suscetibilidade |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Medianamente estável/vuln. | Planaltos Residuais | 20 |
| Moderadamente suscetível | Planaltos Rebaixados | 25 |
| Suscetível | Planície Alúvio Coluvionar | 29 |
| Suscetível | Depressões | 30 |

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001).

5.1.2.4 Suscetibilidade da Geomorfologia

Para o mapeamento da suscetibilidade da Geomorfologia da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã os arquivos de Suscetibilidade à erosão para Declividade, Amplitude Altimétrica e Unidades Geomorfológicas foram convertidos em arquivos matriciais. Em seguida, foi elaborada a média simples destes três planos de informações matriciais seguindo a metodologia de Crepani et al. (2001) (Equação 1).

Equação 1:

$$G = (UG + H + D) / 3$$

Onde:

G = suscetibilidade para o tema Geomorfologia; UG = suscetibilidade atribuída às Unidades Geomorfológicas; H = suscetibilidade atribuída à amplitude Hipsométrica; D = suscetibilidade atribuída à Declividade.

Por fim, para cada valor médio presente no plano de informações gerado a partir da equação 1 foi determinado um grau de suscetibilidade natural à erosão entre 10 e 30, assim como realizado anteriormente para cada tema de entrada desta equação.

5.1.3 Mapeamento da Suscetibilidade à erosão dos solos presentes na Bacia do Alto Camaquã.

Os planos de informações (PIs) vetorial de pedologia disponibilizados pelo IBGE (2012b) em escala 1:250.000 referentes a parte das cartas São Gabriel, Bagé, Cachoeira do Sul e Pedro Osório, MI: SH21zb, SH21zd, SH22ya e SH22yc, situados sobre a área de drenagem da Bacia hidrográfica do Alto Camaquã, foram utilizados para a elaboração do mapeamento da suscetibilidade à erosão para os tipos de solos.

Inicialmente os arquivos vetoriais de pedologia presentes no PI foram classificados, em ambiente SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013), de acordo com os níveis de Suscetibilidade à erosão propostos por Crepani et al. (2001), onde cada classe foi quantificada em intervalos de 10 a 30, sendo o primeiro referente a muito baixa suscetibilidade e o último a muito alta suscetibilidade natural à erosão (Tabela 12).

Tabela 12. Níveis de suscetibilidade pedológica à erosão (continua).

| Classe de solo | Grau de suscetibilidade à erosão |
|----------------------------|----------------------------------|
| Latossolos:amarelo | 10 |
| Latossolo vermelho-amarelo | |
| Latossolo vermelho-escuro | |
| Latossolo roxo | |
| Latossolo bruno | |
| Latossolo húmico | |
| Latossolo bruno-húmico | |
| Podzólico amarelo | 20 |
| Podzólico vermelho-amarelo | |
| Podzólico vermelho-escuro | |
| Terra roxa estruturada | |
| Bruno não-cálcico | |
| Brunizém | |
| Brunizém avermelhado | |
| Planossolo | 25 |
| Cambissolos | |
| Solos litólicos | |
| Solos aluviais | |
| Regossolo | |

Tabela 12. Níveis de suscetibilidade pedológica à erosão (conclusão).

| Classe de solo | Grau de suscetibilidade à erosão |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Areia quartzosa | 30 |
| Vertissolo | |
| Solos orgânicos | |
| Solos hidromórficos | |
| Glei húmico | |
| Glei pouco húmico | |
| Plintossolo | |
| Laterita hidromórfica | |
| Solos concrecionários lateríticos | |
| Rendzinas | |
| Afloramento rochoso | |

Fonte: Crepani et al. (2001)

5.1.4 Suscetibilidade do meio físico da Bacia do Alto Camaquã

Para realizar o mapeamento da Suscetibilidade do meio físico da Bacia do Alto Camaquã os planos de informações vetoriais de Suscetibilidade à erosão de Pedologia e Geologia foram convertidos em planos matriciais em ambiente SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013).

Os dados de imagem *Raster* suscetibilidade para Pedologia, Geologia e Geomorfologia foram submetidos a média simples, retornando o grau de resistência ao processo natural à erosão desde classes com estabilidade até áreas de suscetibilidade natural à erosão (Tabela 13).

Tabela 13. Relação das classes com o grau de suscetibilidade à erosão (continua).

| Classe de suscetibilidade | Grau de suscetibilidade à erosão |
|---------------------------|----------------------------------|
| 10 | Estável |
| 11 | |
| 12 | |
| 13 | |
| 14 | Moderadamente estável |
| 15 | |
| 16 | |

Tabela 14. Relação das classes com o grau de suscetibilidade à erosão (conclusão).

| Classe de suscetibilidade | Grau de suscetibilidade à erosão |
|---------------------------|----------------------------------|
| 17 | Moderadamente estável |
| 18 | Medianamente suscetível/estável |
| 19 | |
| 20 | |
| 21 | |
| 22 | |
| 23 | Moderadamente suscetível |
| 24 | |
| 25 | |
| 26 | |
| 27 | Suscetível |
| 28 | |
| 29 | |
| 30 | |

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001).

5.1.5 Suscetibilidade do uso e da cobertura da terra na Bacia do Alto Camaquã.

Os dados utilizados para o mapeamento da Suscetibilidade do uso e cobertura da terra na Bacia do Alto Camaquã foram extraídos de quatro conjuntos de imagens Landsat 8, órbitas/pontos 223/081, 223/082, 222/081 e 222/082 (USGS, 2015), datadas devido a presença de nuvens em cenas anteriores, em 27 de março, 12, 13 e 13 de abril respectivamente. Concomitantemente foram utilizados como subsídio e orientação os planos de informações (PIs) de rede viária digitalizado de cartas topográficas do exército, escala 1:50.000, por Hasenack e Weber (2010) e hidrografia extraída do MDE SRTM (NASA, 2015)

Todos os procedimentos de processamento digital de imagens e de geoprocessamento foram conduzidos com os softwares ENVI 5.2 (*Exelis Visual Information Solutions, Boulder, Colorado*) e ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013).

Posteriormente as imagens foram transformadas em valores de reflectância (CHANDER et al., 2009) e submetidas a uma correção atmosférica, com base na subtração do pixel escuro (CHAVEZ, 1988), para minimizar os efeitos de espalhamento, absorção e refração da energia eletromagnética, principalmente para

as bandas do visível. Isto permitiu compatibilizar os dados multitemporais, uniformizando-os na mesma escala radiométrica (SONG et al., 2001; LU et al., 2004) (Figura 10).

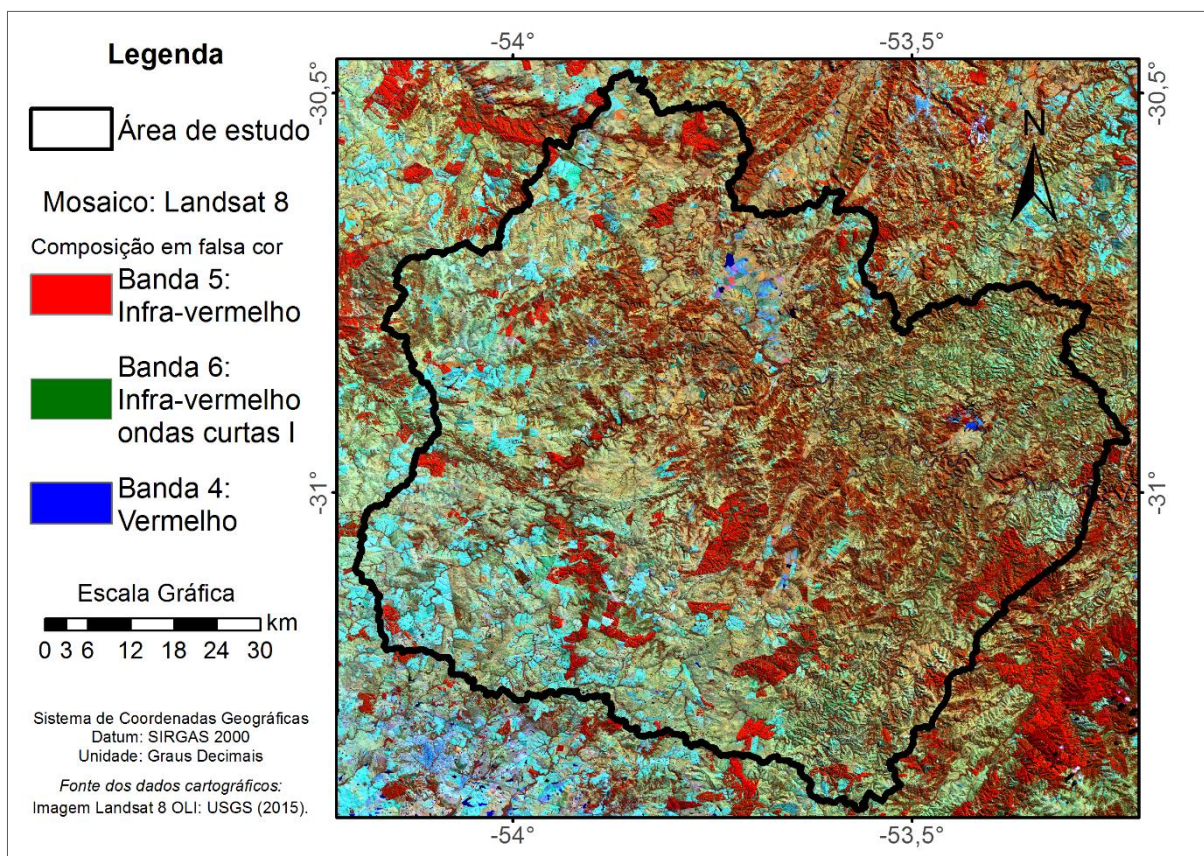


Figura 10. Mosaico de imagens Landsat pré-processadas em composição falsa cor.

Para a classificação supervisionada optou-se pelo método da máxima verossimilhança (STRAHLER, 1980), na qual amostras de treinamento dos principais alvos (silvicultura, cobertura florestal, campestre, solo exposto, lavouras temporárias e corpos de água) foram utilizadas como critérios de decisão e formação das classes para a classificação (MIURA et al., 2009). Posteriormente, as classes foram vetorizadas e exportadas para ambiente SIG onde foram relacionadas espacialmente com os planos de informações de rede hidrográfica, sistema viário e imagem Landsat 8. Isso tornou possível a edição do plano vetorial de solo exposto para a geração dos atributos de área urbana e afloramentos rochosos por meio de interpretação visual assistida em tela, assim como a validação do resultado da classificação com a reambulação realizada em campo.

Por fim, o resultado da suscetibilidade para o Uso e Cobertura da terra foi convertido em uma grade matricial, variando entre valores de estabilidade até suscetibilidade de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14. Graus de Suscetibilidade à erosão para as classes de Uso e cobertura da terra.

| Classe de uso e cobertura da terra | Descrição |
|---|---|
| Área urbana | Construções civis habitacionais, industriais e comerciais. |
| Solo exposto | Conjunto das rodovias, estradas municipais e demais áreas sem cobertura vegetal. |
| Afloramento rochoso | Rochas expostas, sem cobertura vegetal. |
| Lavoura Temporária | Locais de cultivo das culturais sazonais, áreas preparadas. |
| Silvicultura | Áreas com implementação de espécies exóticas, caracterizadas por plantios homogêneos e povoamentos equiâneos. |
| Campestre | Fisionomias predominantemente campestres, incluindo-se as áreas de pasto. |
| Florestal | Remanescentes florestais em diferentes estágios sucessionais. |
| Corpos d'Água | Rios, lagos e açudes. |

Fonte: Adaptada de Crepani et al. (2001).

Para a confiabilidade do tema de uso e cobertura da terra, a classificação foi submetida ao teste Kappa a partir de pontos planimétricos com informações de uso da terra registrados em trabalho de campo. Este teste avalia a confiabilidade a partir da proporção de concordância entre duas ou mais variáveis, classificado entre o valor 1 (máximo), representando absoluta concordância, até valores negativos, indicando nenhuma concordância (COHEN, 1960).

5.1.5.1 Trabalho de campo

Para os levantamentos de dados em campo foram utilizados câmera fotográfica, bússola para a identificação dos pontos cardeais, Notebook e GPS de navegação para obtenção de pontos planimétricos.

As realizações dos trabalhos de campo tiveram por objetivo: obtenção de pontos amostrais para o refinamento da classificação e conferência das classes de uso e cobertura da terra.

Previamente foi realizado um sorteio de pontos com proximidades de 1km do arquivo vetorial de malha viária disponibilizado por Hasenack e Weber (2010) extraído das Cartas Topográficas do Exército em escala 1:50.000.

Os dados necessários foram obtidos em Janeiro de 2015, por meio de registros fotográficos dos locais pré-definidos, sorteados em ambiente SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2013).

Em cada ponto coletado foram registradas fotos dos pontos cardeais Norte, Sul, Leste e Oeste. Foram coletadas informações com distinção de até três horizontes conforme Tabela 15 e Figura 11.

Tabela 15. Exemplo da forma de preenchimento das planilhas de campo.

| ID do GPS | ID do registro fotográfico | | | | Uso e cobertura por distância | | | | | | | | | | | |
|-----------|----------------------------|----|----|----|-------------------------------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | | | | N | N | N | S | S | S | L | L | L | O | O | O |
| | N | S | L | O | dist 1 | dist 2 | dist 3 | d. 1 | d. 2 | d. 3 | d. 1 | d. 2 | d. 3 | d. 1 | d. 2 | d. 3 |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | LT | SE | - | CA | CA | - | F | S | F | SE | LT | LT |
| 2 | 5 | 6 | 7 | 8 | F | F | F | LT | LT | F | CP | AF | - | F | F | CP |
| 3 | 9 | 10 | 11 | 12 | S | - | - | LT | LT | - | F | F | S | S | F | - |
| 4 | 13 | 14 | 15 | 16 | CP | F | F | LT | S | AU | CA | CP | F | CP | SE | S |
| 5 | 17 | 18 | 19 | 20 | CP | CP | CP | S | S | - | CP | CP | F | F | F | AF |

Legenda

| | | | | | | |
|-------------------------|-------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------------|
| LT - Lavoura temporária | SE – Solo exposto | CA - Corpos d'água | F - Florestal | S - Silvicultura | AU - Área urbana | AF - Afloramento rochoso |
|-------------------------|-------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|--------------------------|

Fonte: Elaborada pelo autor.

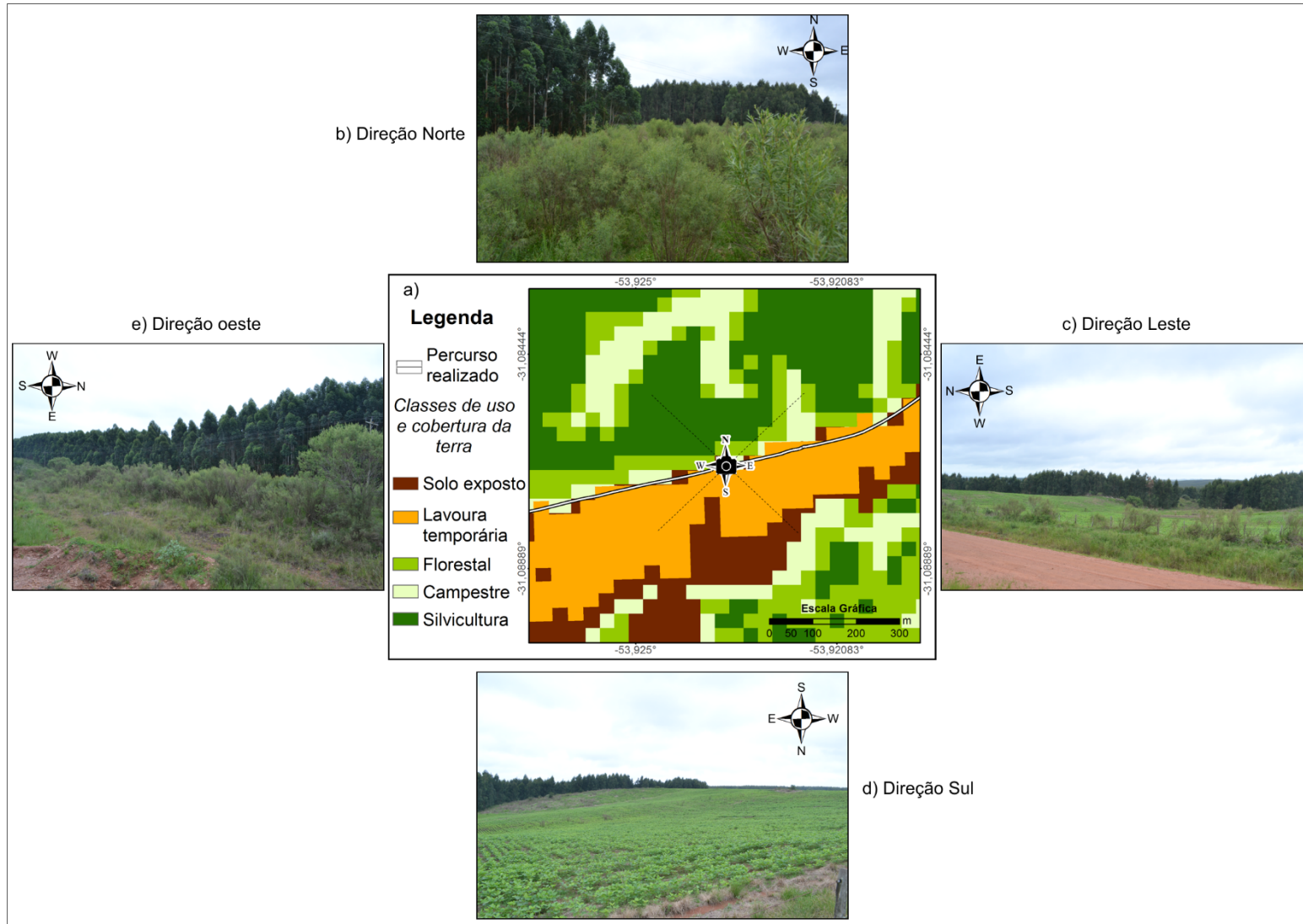


Figura 11. Detalhamento da classificação com verificação de um ponto amostrado em saída de campo. Fonte: Elaborada pelo autor. Registro fotográfico: Thales Castilhos.

5.1.6 suscetibilidade dos meios físicos e antrópicos da Bacia do Alto Camaquã

O mapeamento da suscetibilidade dos meios físicos e antrópicos da Bacia do Alto Camaquã foi gerado a partir da sobreposição dos planos de informações de suscetibilidade do meio físico e suscetibilidade do uso e cobertura da terra. Assim, o resultado pretendido foi gerado com proporções de 50%, distribuída igualmente em 16,7% nos planos de Solos, Geologia, Geomorfologia e 50% para as classes de suscetibilidade do uso e cobertura da terra (Figura 12).

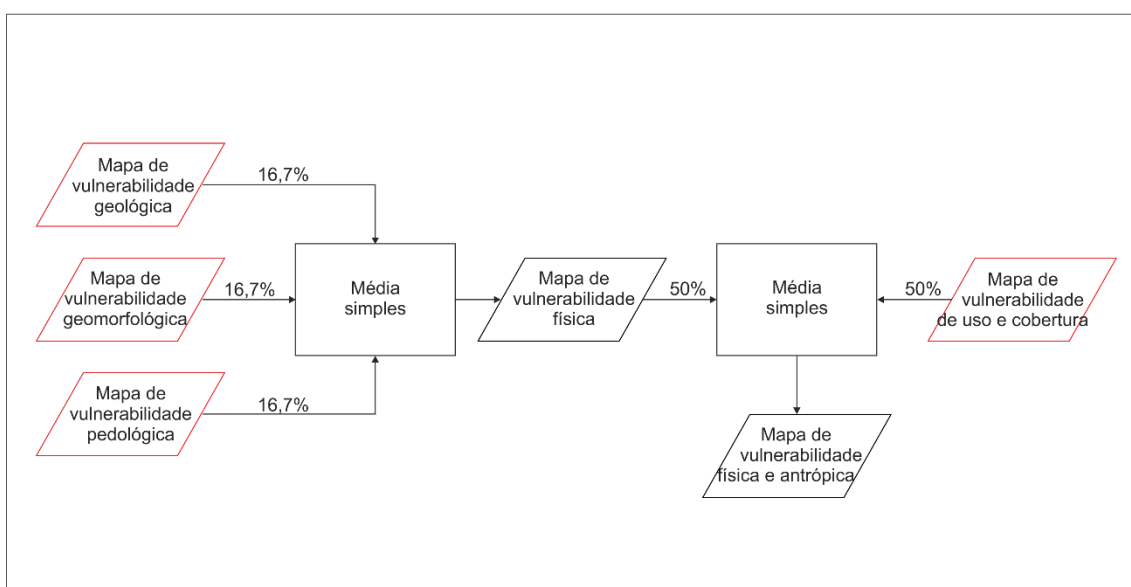


Figura 12. Distribuição e proporções dos planos de informações na geração das informações de suscetibilidade física e antrópica. Fonte: Elaborada pelo autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Caracterizações dos níveis de suscetibilidade das Unidades Geológicas.

A disposição das unidades geológicas presentes na bacia hidrográfica revela uma baixa variação entre as formações suscetíveis, enquanto há a descrição de um maior número de unidades adotadas para os índices de estabilidade (Tabela 16)

Tabela 16. Unidades geológicas e os respectivos índices de suscetibilidade na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (continua).

| Unidades Geológicas | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) |
|--|-------|-------------------------|----------|
| Complexo Metamórfico Porongos - Unidade Pelito Carbonática | 10 | 84,51 | 1,65 |
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Monzogranito | 11 | 55,99 | 1,09 |
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Monzonito | 11 | 33,48 | 0,65 |
| Associação Shoshonítica Lavras do Sul - Pertita Granito | 11 | 21,10 | 0,41 |
| Complexo Granítico Gnaissico Bagé | 11 | 183,52 | 3,58 |
| Formação Acampamento Velho | 11 | 7,51 | 0,15 |
| Granito | 11 | 18,96 | 0,37 |
| Granito Jaguari | 11 | 158,92 | 3,10 |
| Granito Ramada | 11 | 2,13 | 0,04 |
| Granito São Manoel | 11 | 65,25 | 1,27 |
| Granitóide Santana da Boa Vista - monzogranito | 11 | 0,74 | 0,01 |
| Granodiorito Fazenda do Posto | 11 | 15,12 | 0,29 |
| Monzogranito Santo Antonio | 11 | 59,63 | 1,16 |
| Suite Granítica Campinas - Granito Campinas | 11 | 642,85 | 12,54 |
| Complexo Cambai - Dominio de Ortognaisses | 13 | 182,64 | 3,56 |
| Complexo Metamórfico Porongo - Unidade Ortognaisse | 13 | 4,27 | 0,08 |
| Complexo Metamórfico Porongos - Unidade Vulcânica | 15 | 15,88 | 0,31 |
| Complexo Metamórfico Vacacai - Unidade Vulcanica | 15 | 2,27 | 0,04 |

Tabela 16. Unidades geológicas e os respectivos índices de suscetibilidade na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (conclusão).

| Unidades Geológicas | Vuln. | Área (km²) | Área (%) |
|---|--------------|------------------------------|-----------------|
| Fácies Básica | 15 | 0,58 | 0,01 |
| Formação Arroio Mudador | 15 | 19,89 | 0,39 |
| Formação Hilário - Fácies Coerente | 15 | 312,52 | 6,10 |
| Formação Rodeio Velho | 15 | 93,92 | 1,83 |
| Suite Intrusiva Lagoa da Meia Lua | 15 | 135,04 | 2,63 |
| Complexo Máfico-Ultramáfico Cerro Mantiqueira | 16 | 22,70 | 0,44 |
| Formação Arroio Marmeleiro | 24 | 216,01 | 4,21 |
| Fácies Particulada | 25 | 43,43 | 0,85 |
| Formação Hilário - Fácies Particulado | 25 | 247,77 | 4,83 |
| Formação Pedra Pintada | 25 | 374,28 | 7,30 |
| Formação Santa Fé | 25 | 171,51 | 3,35 |
| Complexo Metamórfico Vacacaí - Unidade Vulcano Sedimentar | 27 | 45,43 | 0,89 |
| Formação Palermo | 27 | 4,10 | 0,08 |
| Formação Rio Bonito | 27 | 175,95 | 3,43 |
| Formação Varzinha | 27 | 737,11 | 14,38 |
| Formação Serra dos Lanceiros | 28 | 173,37 | 3,38 |
| Depósitos aluviais | 30 | 97,54 | 1,90 |
| Formação Arroio América | 30 | 190,81 | 3,72 |
| Formação Passo da Promessa | 30 | 83,18 | 1,62 |
| Formação Santa Tecla | 30 | 287,17 | 5,60 |
| Formação São Rafael | 30 | 105,47 | 2,06 |
| Formação Taciba | 30 | 22,32 | 0,44 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

A área de estudo possui em média uma suscetibilidade natural à erosão medianamente estável/suscetível (20,8). O maior índice de suscetibilidade (índice 30), com aproximadamente 15,34%, está presente com maior representatividade na

porção oeste da bacia hidrográfica, contemplando as classes de sedimentos inconsolidados situadas principalmente nas regiões com depósitos sedimentares fluviais (Figura 13 e Tabela 17).

Como sequência dos altos índices representativos foram destacadas as classes de Siltitos e argilitos (índice 27) (18,78%) e de Conglomerados (índice 25) (16,33%), a primeira composta pelas unidades “Complexo Metamórfico Vacacaí - Unidade Vulcano Sedimentar”, “Formação Palermo”, “Formação Rio Bonito” e “Formação Varzinha” com ocorrência maior na porção Leste da bacia hidrográfica enquanto a segunda classe formada pelas unidades “Fácies Particulada”, “Formação Hilário - Fácies Particulada”, “Formação Pedra Pintada” e “Formação Santa Fé” ocupa com maior predominância nas porções leste e norte (Figura 13 e Tabela 17).

A classe de maior estabilidade/menor suscetibilidade natural à erosão (índice 10) para o tema de unidades geológicas foi atribuída à unidade “Complexo Metamórfico Porongos - Unidade Pelito Carbonática” presente nos limites fronteiros da região mais à jusante na bacia hidrográfica, porém houve pouca representação (1,65%). A segunda classe de maior estabilidade/menor suscetibilidade “Riolitos, Granitos e Dacitos” (índice 11) foi a classe com maior presença na bacia hidrográfica com aproximadamente 24,39% da área total (Tabela 17). A classe de suscetibilidade/estabilidade média “andesitos, dioritos e basalto” (índice 15) perfazem aproximadamente 11,32% da área em estudo, distribuída na região central e centro-oeste (Figura 13).

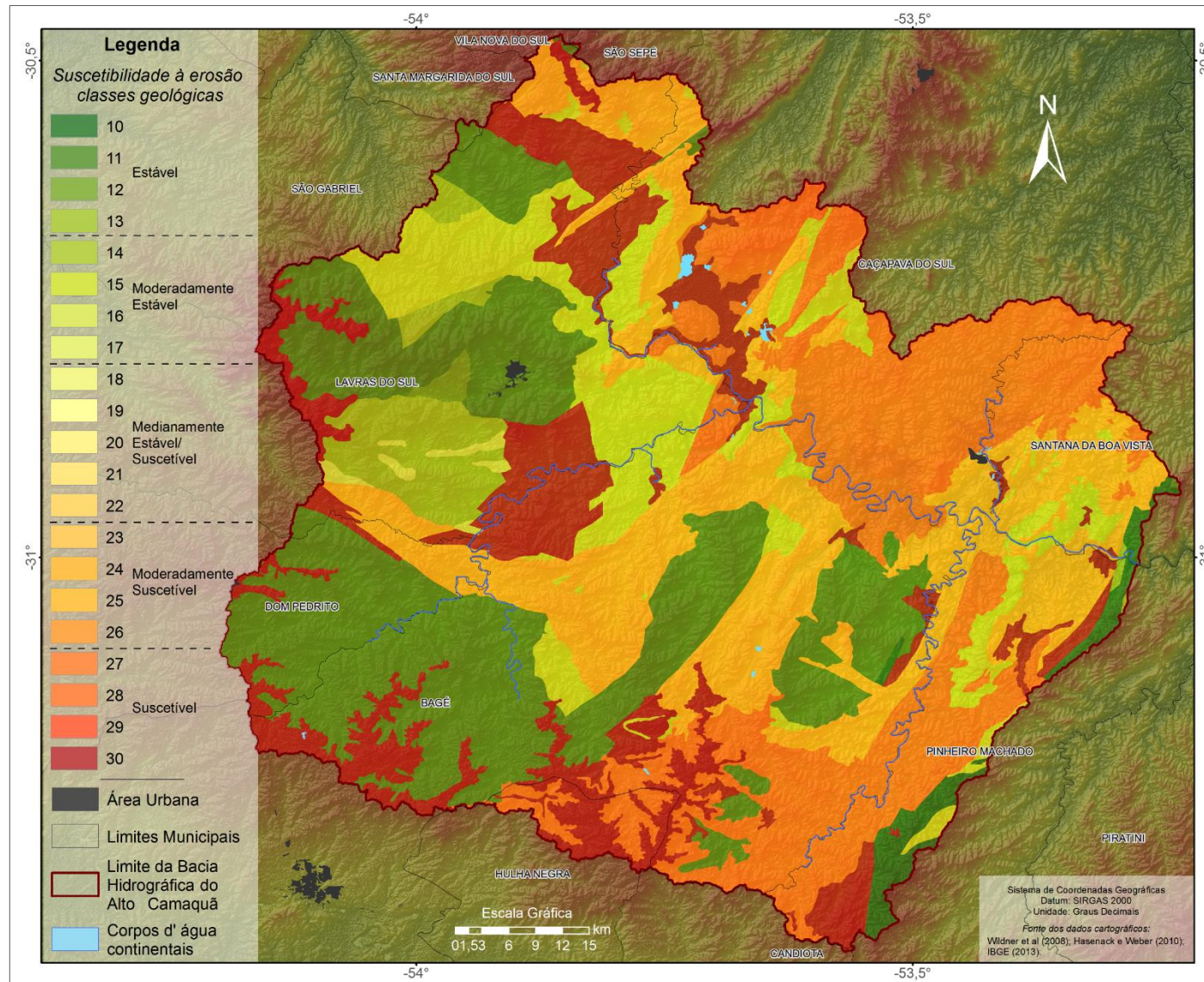


Figura 13. Mapa de suscetibilidade das unidades geológicas. Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 17. Quantificação de rochas predominantes nas unidades geológicas de acordo com o índice de suscetibilidade.

| Rochas predominantes | Vuln. | Área (km²) | Área (%) |
|--|--------------|------------------------------|-----------------|
| Quartzitos ou metaquartzitos | 10 | 84,51 | 1,65 |
| Riolito, granito, dacito | 11 | 1250,08 | 24,39 |
| Grandiorito, quartzo diorito, granulitos | 12 | 15,12 | 0,29 |
| Migmatitos, gnaisses | 13 | 186,91 | 3,65 |
| Andesito, diorito, basalto | 15 | 580,10 | 11,32 |
| Anortosito, gabro, peridotito | 16 | 22,70 | 0,44 |
| Arenitos quartzosos | 24 | 216,01 | 4,21 |
| Conglomerados | 25 | 836,99 | 16,33 |
| Siltitos, argilitos | 27 | 962,59 | 18,78 |
| Folhelhos | 28 | 173,37 | 3,38 |
| Sedimentos inconsolidados: | 30 | 786,48 | 15,34 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com os dados mencionados na Tabela 17, a suscetibilidade natural à erosão para a Bacia do Alto Camaquã é representada principalmente por cinco classes (índices 30; 27; 25; 15; 11), enquanto seis classes ocupam, somadas, apenas aproximadamente 13,62%.

Quando agrupadas por unidades de suscetibilidade, a classe moderadamente suscetível ocupou 37,5% da área total, seguida das classes “estável” com 30%, “medianamente estável/suscetível” com 20,5% e “moderadamente suscetível” com 11,8% (Figura 14).

A distribuição das unidades geológicas revela duas regiões distintas na bacia hidrográfica. A região leste da bacia, composta por formações de rochas graníticas e relevo mais acidentado, é predominantemente moderada suscetível (índice 24) à suscetível (índice 30) com menor ocorrência da classe estável. Por outro lado, a região oeste, situada sobre uma área heterogênea com presença de rochas graníticas, basálticas, depósitos sedimentares fluviais e um relevo tênue, possui índice de

moderadamente estável à estável além de regiões sedimentares suscetíveis e manchas moderadamente suscetíveis.

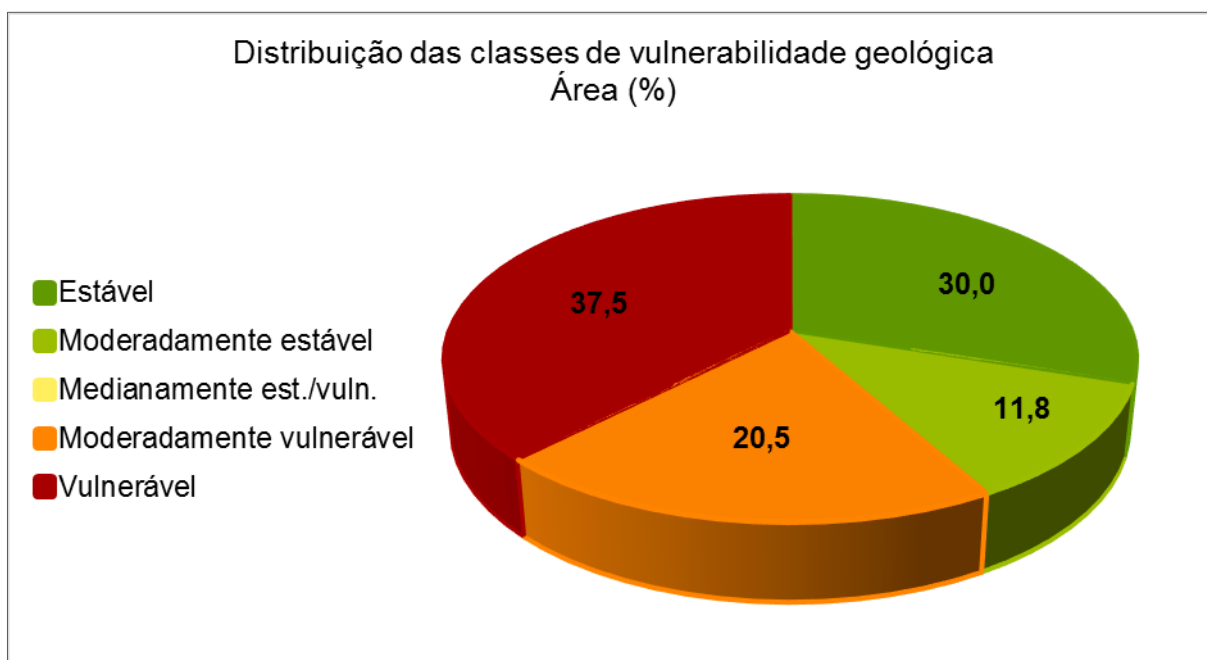


Figura 14. Distribuição das classes de suscetibilidade geológica. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2 Caracterização da suscetibilidade geomorfológica.

6.2.1 Clinografia

O relevo da área de estudo é estruturado em dois grupos, a região oeste possui um relevo com pouca declividade variando entre plano e ondulado, já a região leste conta com um relevo declivoso, com presença de morros e cadeias montanhosas que alternam de um relevo ondulado a escarpado (Figura 4).

A classe de suscetibilidade natural à erosão mais expressiva para o tema de clinografia foi a estável, composta pelo intervalo do percentual de declividade de 0 a 12,9 com aproximadamente 57,65% da área de estudo, seguida das classes moderadamente estável com 32,68%, medianamente estável/suscetível com 7,83%, moderadamente suscetível com 1,17% e como a classe menor representada suscetível com 0,43% (Figura 15 e Tabela 18).

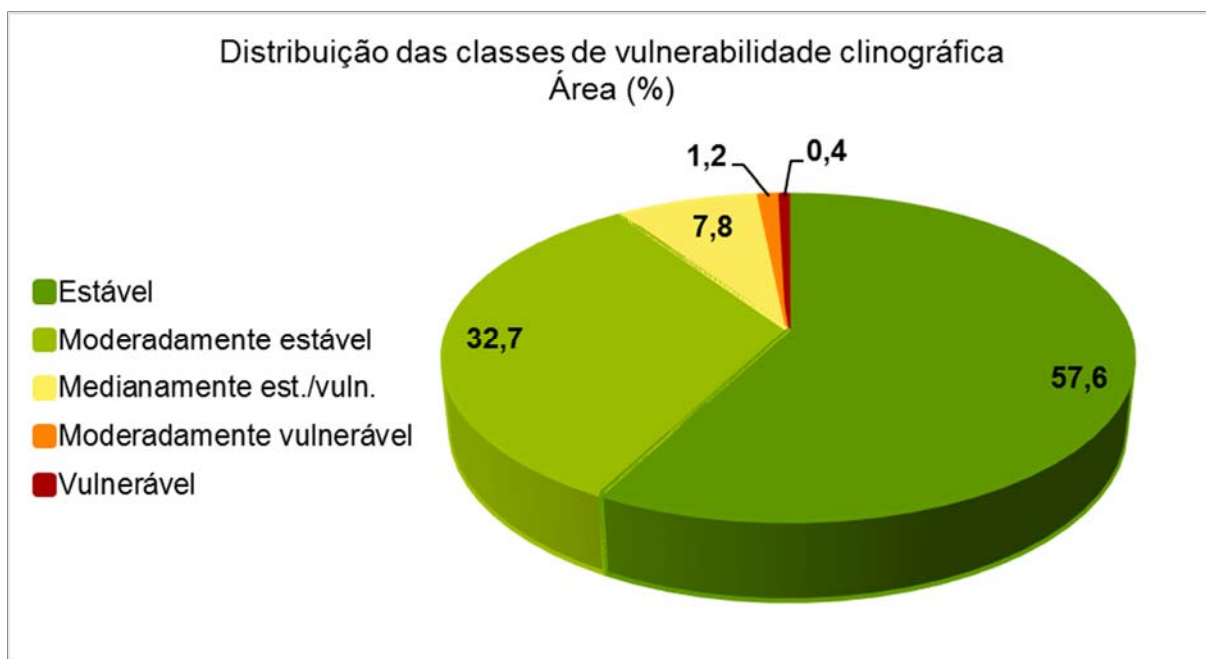


Figura 15. Distribuição das classes de suscetibilidade clinográfica. Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 18. Quantificação da suscetibilidade natural à erosão em relação ao intervalo clinográfico.

| Intervalo de declividade | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) | Intervalo de declividade | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) |
|--------------------------|-------|-------------------------|----------|--------------------------|-------|-------------------------|----------|
| <3,5 | 10 | 623,56 | 12,16 | 27,2 - 29,6 | 21 | 45,80 | 0,89 |
| 3,5 - 5,8 | 11 | 798,58 | 15,58 | 29,6 - 32,1 | 22 | 33,42 | 0,65 |
| 5,8 - 8,2 | 12 | 844,05 | 16,47 | 32,1 - 34,6 | 23 | 23,35 | 0,46 |
| 8,2 - 10,3 | 13 | 689,02 | 13,44 | 34,6 - 37,2 | 24 | 16,63 | 0,32 |
| 10,3 - 12,9 | 14 | 688,43 | 13,43 | 37,2 - 39,8 | 25 | 12,04 | 0,23 |
| 12,9 - 15,1 | 15 | 430,51 | 8,40 | 39,8 - 42,4 | 26 | 8,39 | 0,16 |
| 15,1 - 17,4 | 16 | 327,77 | 6,39 | 42,4 - 45,3 | 27 | 6,59 | 0,13 |
| 17,4 - 19,8 | 17 | 228,58 | 4,46 | 45,3 - 48,1 | 28 | 4,49 | 0,09 |
| 19,8 - 22,2 | 18 | 148,52 | 2,90 | 48,1 - 50 | 29 | 2,30 | 0,04 |
| 22,2 - 24,5 | 19 | 97,48 | 1,90 | >50 | 30 | 8,76 | 0,17 |
| 24,5 - 27,2 | 20 | 76,59 | 1,49 | | | | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com o mapeamento da suscetibilidade natural à erosão realizado para o tema de declividade (Figura 16) a classe estável, mais expressiva, predomina na porção oeste da bacia hidrográfica. Por outro lado, as porções leste e norte dispõem, em grande parte, das classes estável à medianamente suscetível/estável com presença de manchas das classes moderadamente suscetível e suscetível (Figura 16).

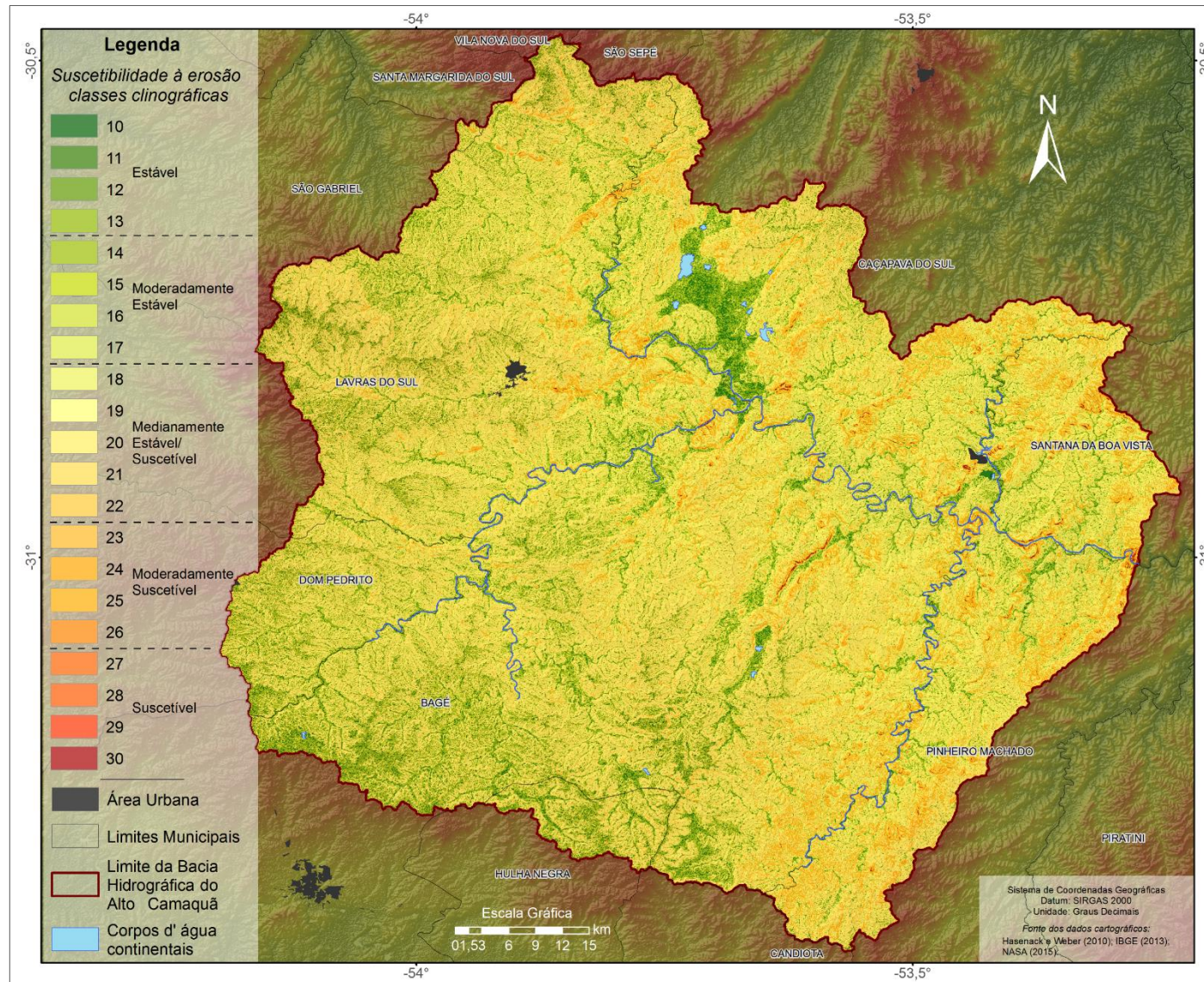


Figura 16. Mapa de suscetibilidade clinográfica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.2 Amplitude Hipsométrica

Para a área de estudo foram registrados valores de amplitude altimétrica que variam de 0 m, áreas sem elevações em relação à drenagem mais próxima, à 291,2 m, porções territoriais caracterizadas por morros e relevos mais acidentados e declivosos (Figura 18).

A avaliação da amplitude altimétrica revelou baixos níveis de suscetibilidades, com aproximadamente 94,3% representada pelas classes abaixo de 20 m (classe 10), entre 20 e 29,5 m (classe 11) e 29,5 à 39 m (classe 12), ambas classificadas como estável quanto à suscetibilidade natural à erosão (Figura 17). Por outro lado, 5,7% da área são distribuídos em 18 classes com baixas representatividades (Tabela 19 e Figura 18).

Tabela 19. Relação da amplitude altimétrica com os índices de suscetibilidade natural à erosão e sua quantificação.

| HAND | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) | HAND | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) |
|------------|-------|-------------------------|----------|------------|-------|-------------------------|----------|
| <20 | 10 | 3843,48 | 74,978 | 113 -122,5 | 21 | 1,16 | 0,023 |
| 20 - 29,5 | 11 | 657,15 | 12,820 | 122,5 -132 | 22 | 0,69 | 0,013 |
| 29,5 - 39 | 12 | 331,71 | 6,471 | 132 -141,5 | 23 | 0,41 | 0,008 |
| 39 - 48,5 | 13 | 142,49 | 2,780 | 141,5 -151 | 24 | 0,32 | 0,006 |
| 48,5 - 58 | 14 | 69,85 | 1,363 | 151 -160,5 | 25 | 0,21 | 0,004 |
| 58 - 67,5 | 15 | 31,95 | 0,623 | 160,5 -170 | 26 | 0,14 | 0,003 |
| 67,5 - 77 | 16 | 17,05 | 0,333 | 170 -179,5 | 27 | 0,10 | 0,002 |
| 77 - 84,5 | 17 | 7,13 | 0,139 | 179,5 -189 | 28 | 0,06 | 0,001 |
| 84,5 - 94 | 18 | 5,73 | 0,112 | 189 - 200 | 29 | 0,04 | 0,001 |
| 94 - 103,5 | 19 | 3,14 | 0,061 | >200 | 30 | 0,11 | 0,002 |
| 103,5 -113 | 20 | 1,95 | 0,038 | | | | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

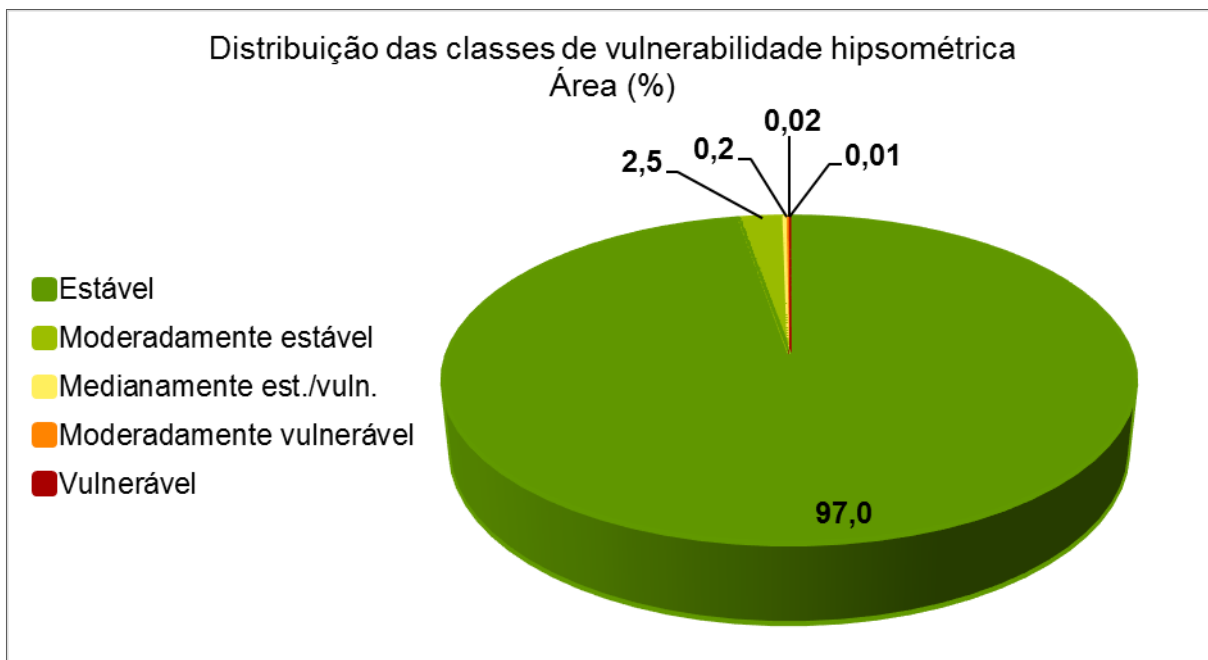


Figura 17. Distribuição das classes de suscetibilidade hipsométrica. Fonte: Elaborada pelo autor.

Os baixos índices de amplitude altimétrica representada na Figura 18 caracterizam a bacia hidrográfica por um relevo pouco modelado, principalmente na porção oeste. Todavia, na região leste e norte em proximidade aos canais de drenagem encontram-se maiores desníveis caracterizando uma maior suscetibilidade natural à erosão.

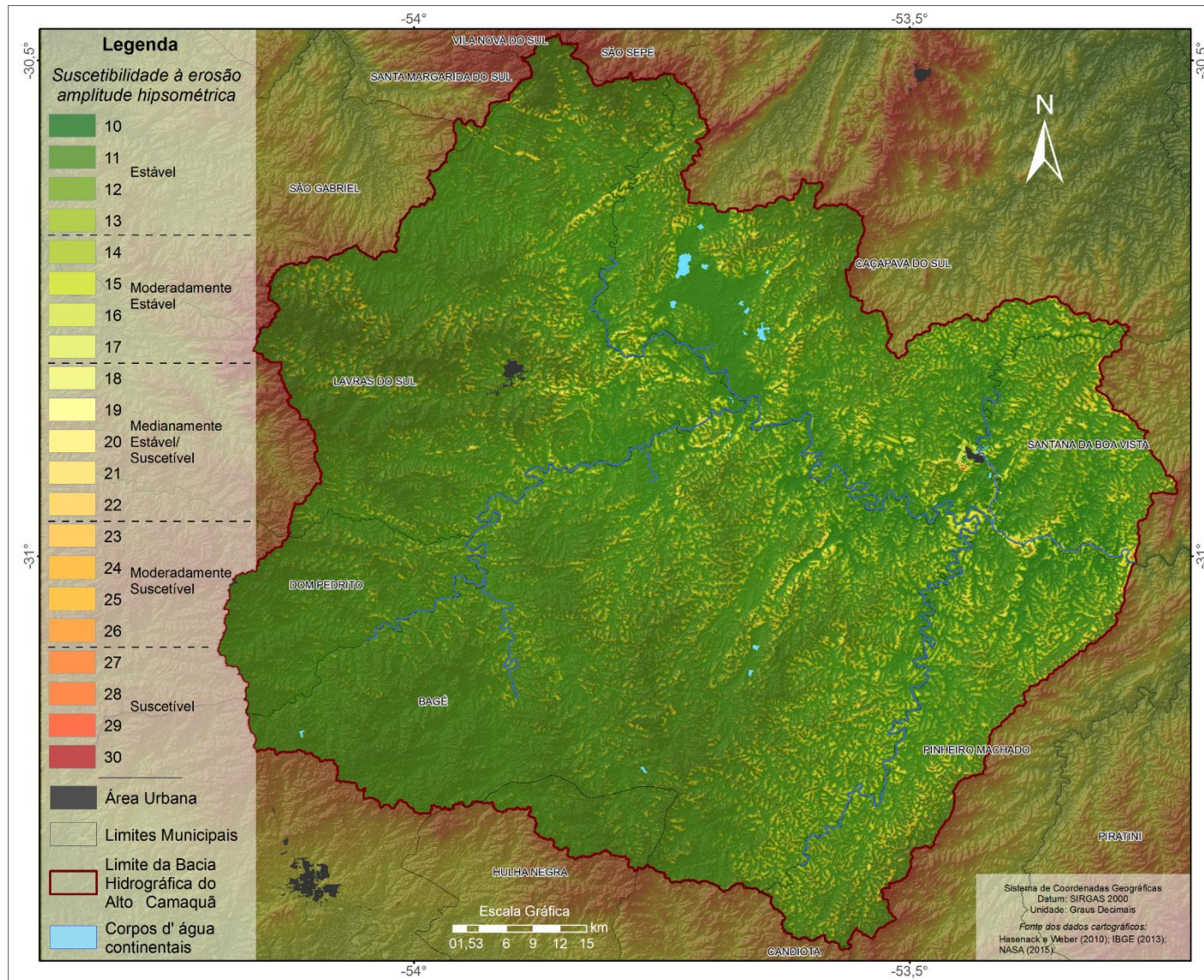


Figura 18. Mapa de suscetibilidade hipsométrica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.3 Unidades Geomorfológicas

As unidades geomorfológicas da Bacia do Alto Camaquã apresentaram, em geral, uma estabilidade/suscetibilidade mediana à erosão. O Planalto Rebaixado Sul-Riograndense representa a classe de menor suscetibilidade da BH. O maior percentual da área de estudo foi identificado com o Planalto Rebaixado Sul-Riograndense, classe moderadamente suscetível, com abrangência de 60,34% (Tabela 20 e Figura 19).

A classe suscetível perfaz apenas 4,8% da área, atribuída, em pequenas porções territoriais, às unidades geomorfológicas Depressão do Rio Negro, entre os municípios de Bagé, Hulha Negra e Pinheiro Machado, e Planície Alúvio-Coluvionar, no município de Caçapava e áreas limítrofes aos municípios de Lavras do Sul, Santana da Boa Vista e Bagé (Figura 20).

Tabela 20. Distribuição areal das unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Unidade Geomorfológica | Suscetibilidade | Área (km ²) | Área (%) |
|--------------------------------------|-----------------|-------------------------|----------|
| Planaltos Residuais Sul-Riograndense | 20 | 1775,62 | 34,64 |
| Planalto Rebaixado Sul-Riograndense | 25 | 3093,23 | 60,34 |
| Depressão do Rio Negro | 29 | 177,24 | 3,46 |
| Planícies Alúvio-coluvionares | 30 | 68,77 | 1,34 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

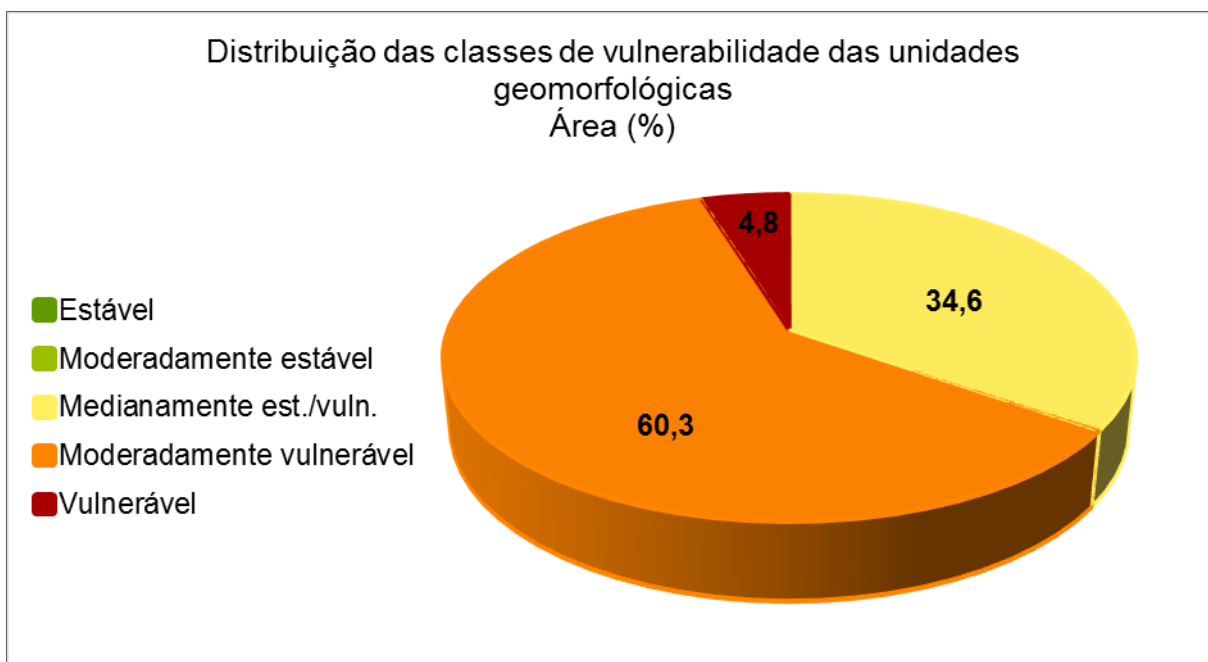


Figura 19. Distribuição das classes de suscetibilidade das unidades geomorfológicas.
Fonte: Elaborada pelo autor.

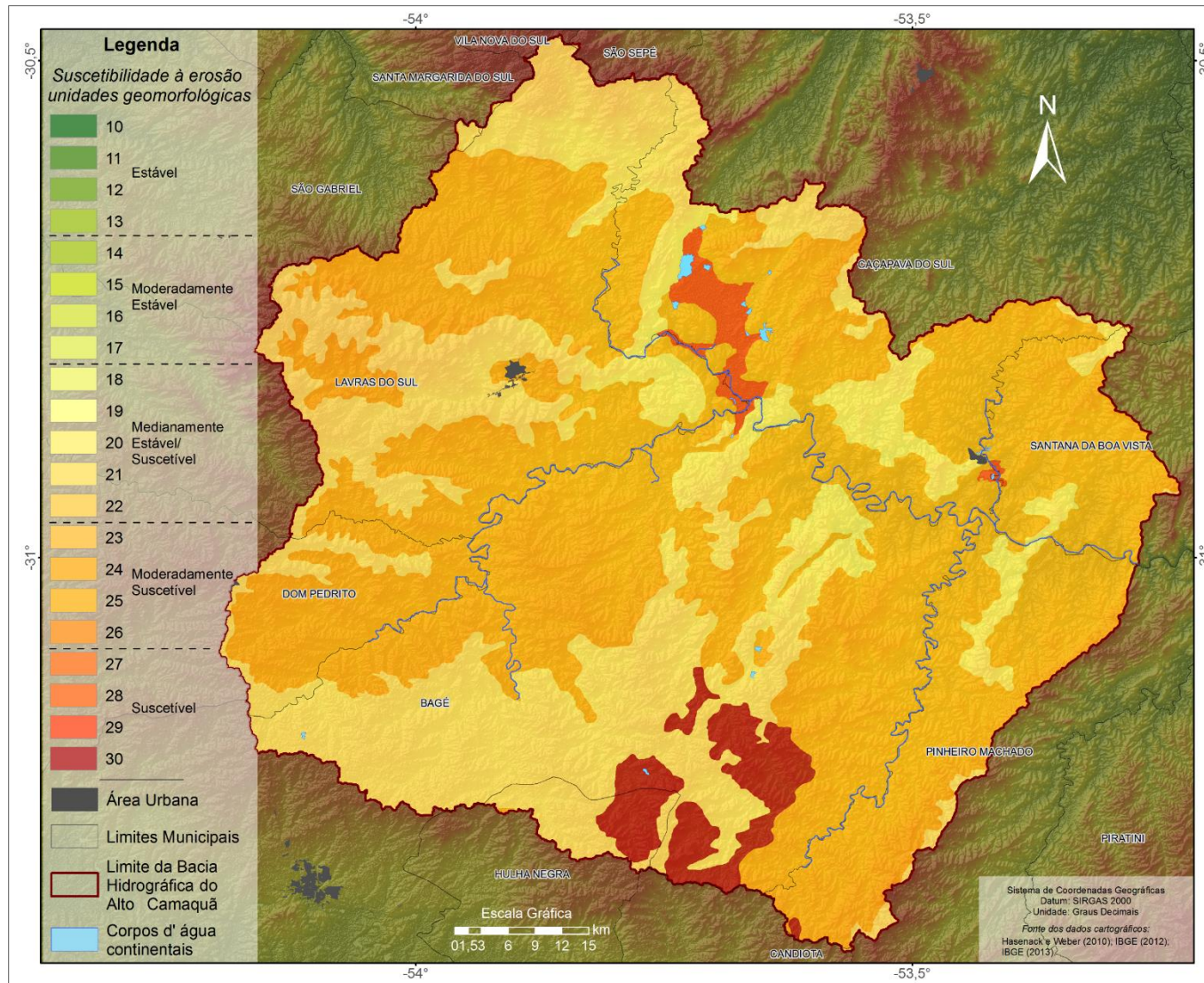


Figura 20. Mapa de suscetibilidade das unidades geomorfológicas da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.2.4 Suscetibilidade da Geomorfologia

A geomorfologia da Bacia do Alto Camaquã apresenta nas classes “estável” (10,6%), “moderadamente estável” (79,9%) e “medianamente estável/suscetível” (9,2%) a maior representação de sua área, com aproximadamente 90,5%, já as classes “moderadamente suscetível” e “suscetível” perfazem apenas 0,1% (Figura 21).

Os atributos de amplitude hipsométrica, clinografia e unidades geomorfológicas configuram, assim como nos mapeamentos individuais, a estabilidade geomorfológica à erosão na porção oeste da Bacia do Alto Camaquã, caracterizada pelas baixas amplitudes altimétricas, baixas declividades e as estruturas dos planaltos Sul-Riograndense (Tabela 21). Na Figura 22 é possível observar que a suscetibilidade geomorfológica à erosão na porção leste da bacia apresenta grande influência dos temas de amplitude altimétrica e declividade, contudo a unidade geomorfológica Depressão do Rio Negro apresenta distinção, influenciando na suscetibilidade do local.

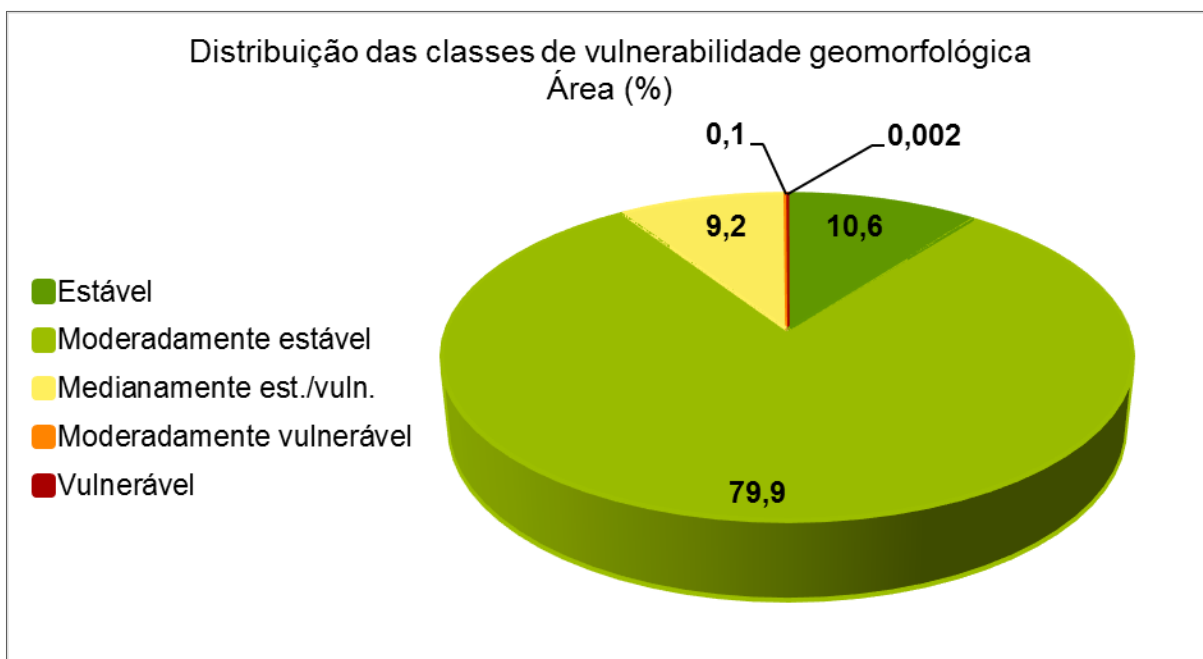


Figura 21. Distribuição das classes de suscetibilidade geomorfológica. Fonte: Elaborada pelo autor.

Tabela 21. Classes de suscetibilidade geomorfológica da BH do Alto Camaquã.

| Classe de Vuln. Geomorfológica | Área (km²) | Área (%) | Classe de Vuln. Geomorfológica | Área (km²) | Área (%) |
|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|---------------------------------------|------------------------------|-----------------|
| 13 | 541,85 | 10,570 | 21 | 18,94 | 0,370 |
| 14 | 769,46 | 15,011 | 22 | 8,56 | 0,167 |
| 15 | 1348,33 | 26,303 | 23 | 3,61 | 0,070 |
| 16 | 1292,44 | 25,213 | 24 | 1,19 | 0,023 |
| 17 | 688,04 | 13,422 | 25 | 0,42 | 0,008 |
| 18 | 283,15 | 5,524 | 26 | 0,17 | 0,003 |
| 19 | 112,97 | 2,204 | 27 | 0,07 | 0,001 |
| 20 | 45,64 | 0,890 | 28 | 0,03 | 0,001 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

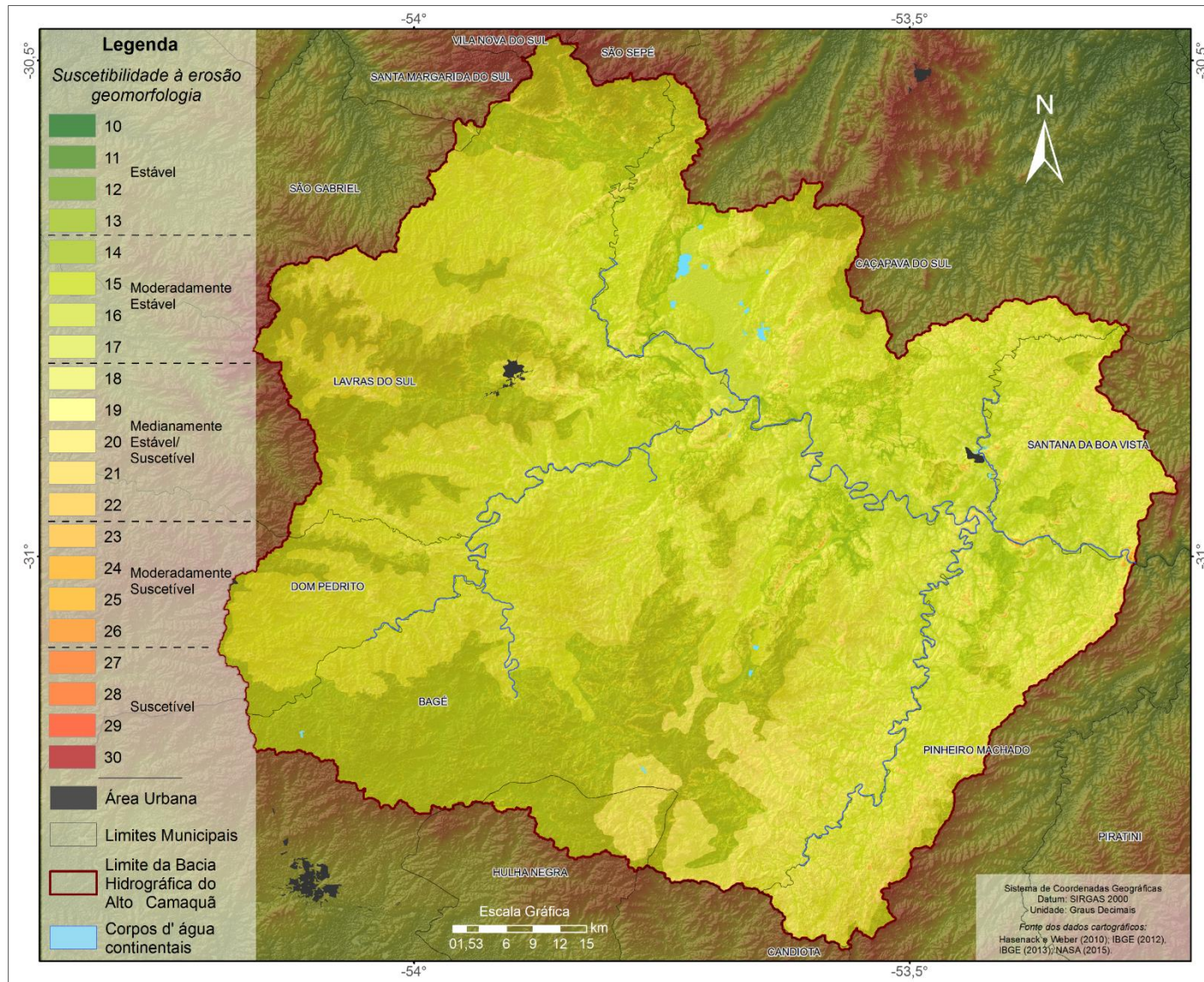


Figura 22. Mapa de suscetibilidade geomorfológica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.3 Suscetibilidade dos solos.

A classificação dos tipos de solos quanto a suscetibilidade natural à erosão para a BH do Alto Camaquã resultou em duas classes, a suscetível composta pelos Neossolos e a classe medianamente estável/suscetível constituída pelos Luvisolos, Planossolos, Argissolos e Chernossolos (Tabela 22).

Tabela 22. Valores de suscetibilidade e área de cada classe pedológica presente na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Classe de solo | Vuln. | Área (km ²) | Área (%) |
|---------------------------------------|-------|-------------------------|----------|
| Chernossolo Ebânico Carbonático | 20 | 0,56 | 0,01 |
| Chernossolo Ebânico Órtico | 20 | 208,79 | 4,07 |
| Chernossolo Argilúvico Órtico | 20 | 12,03 | 0,23 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico | 20 | 966,09 | 18,85 |
| Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico | 20 | 76,21 | 1,49 |
| Argissolo Vermelho Distrófico | 20 | 299,06 | 5,83 |
| Planossolo Háptico Eutrófico | 20 | 64,48 | 1,26 |
| Luvissolo Crômico Pálico | 20 | 174,55 | 3,41 |
| Luvissolo Háptico Órtico | 20 | 55,41 | 1,08 |
| Neossolo Litólico Distrófico | 30 | 431,81 | 8,42 |
| Neossolo Litólico Distro-Úmbrico | 30 | 113,8 | 2,22 |
| Neossolo Litólico Eutrófico | 30 | 2712,07 | 52,91 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

A classe suscetível possui uma maior representatividade com 63,55% da área da bacia hidrográfica (Figura 23). Esta classe é a mais significativa da área de estudo, ocorrendo nas regiões onde o relevo é ondulado ou forte ondulado, situada principalmente na porção leste seguida da porção norte com abrangência na área urbana do município de Lavras do Sul. Por sua vez, a classe medianamente estável/suscetível (36,2%) ocupa as regiões sul, central e centro-oeste da bacia (Figura 24).

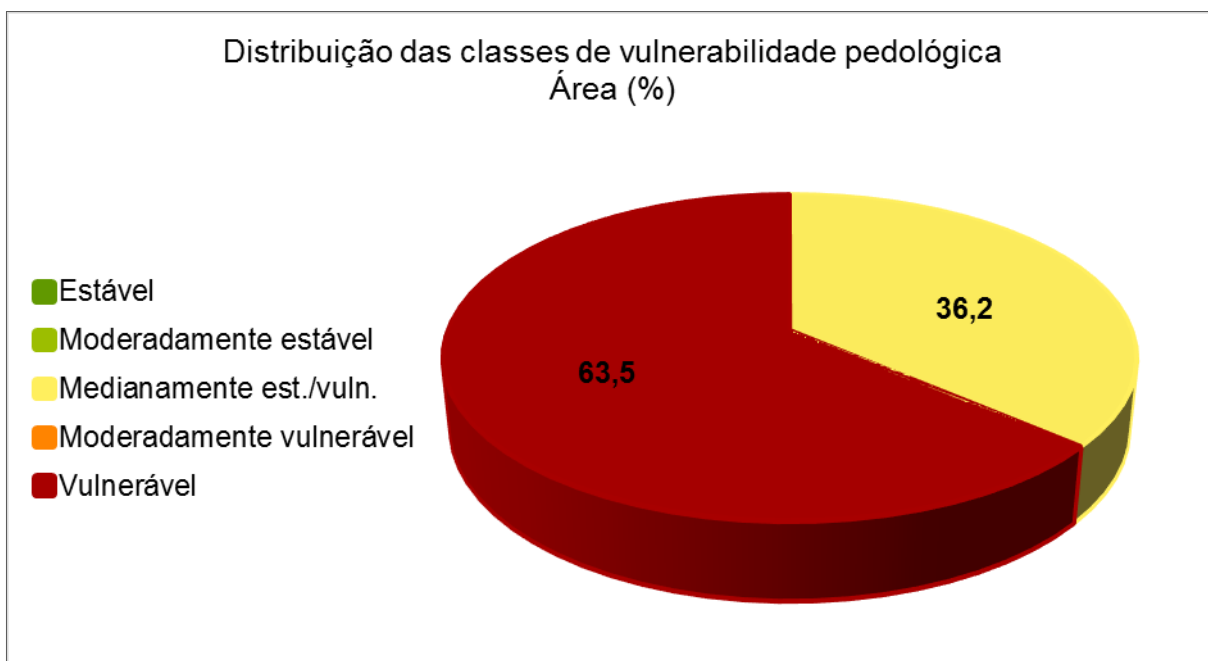


Figura 23. Distribuição das classes de suscetibilidade pedológica. Fonte: Elaborada pelo autor.

As áreas suscetíveis sobre relevo mais acidentado e declivoso, decorrentes, principalmente, da baixa profundidade além de deficiências de drenagem, são características das unidades pedológicas presentes na Bacia do Alto Camaquã, determinando, assim, uma forte suscetibilidade aos processos erosivos (Figura 24).

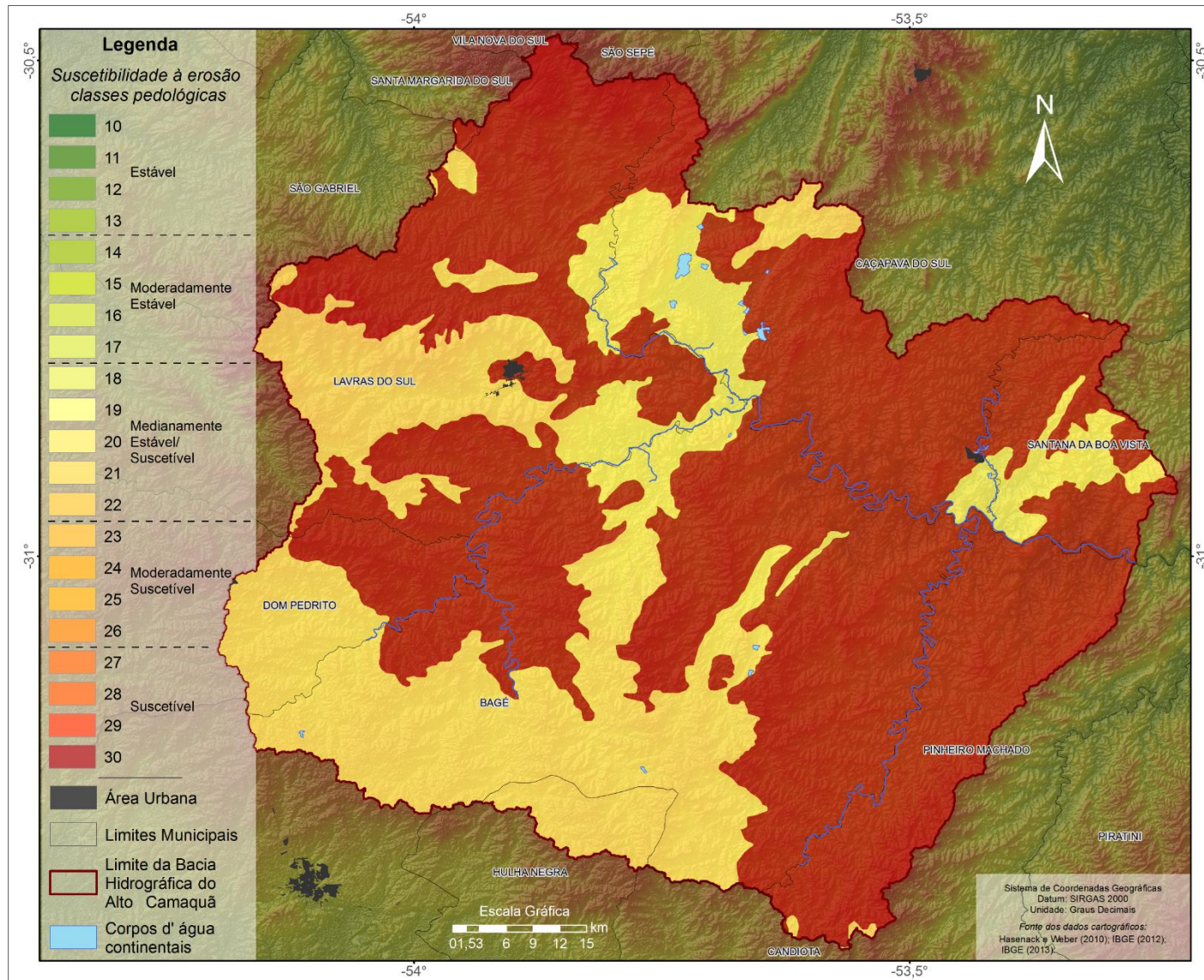


Figura 24. Mapa de suscetibilidade pedológica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.4 Suscetibilidade dos aspectos físicos.

O mapeamento de suscetibilidade natural à erosão, obtido por meio da álgebra dos mapas temáticos de suscetibilidade geológica, geomorfológica e pedológica, possibilitou a avaliação dos níveis de suscetibilidade/estabilidade dos elementos físicos da bacia hidrográfica. Estes níveis compreenderam, principalmente, em 53,24% a classe medianamente estável/suscetível, além das classes moderadamente estável (30,77%), moderadamente suscetível (15,75%) e estável (0,03%). A classe suscetível à erosão não foi obtida como resultado da união dos mapas temáticos (Tabela 23 e Figura 25).

Na Figura 26 é possível observar a expressiva separabilidade das classes de suscetibilidade presente nas porções leste, centro-oeste e norte da bacia hidrográfica, com maiores predisposições à erosão, em relação às demais áreas, que apresentam uma maior estabilidade natural à erosão.

Tabela 23. Classe de suscetibilidade natural à erosão da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Classe de Suscetibilidade Natural à erosão | Área (km ²) | Área (%) |
|--|-------------------------|----------|
| 13 | 1,43 | 0,03 |
| 14 | 594,81 | 11,61 |
| 15 | 104,34 | 2,04 |
| 16 | 392,30 | 7,65 |
| 17 | 485,74 | 9,47 |
| 18 | 483,63 | 9,44 |
| 19 | 497,82 | 9,71 |
| 20 | 1035,71 | 20,20 |
| 21 | 331,30 | 6,463 |
| 22 | 380,36 | 7,42 |
| 23 | 804,22 | 15,68 |
| 24 | 0,16 | 0,003 |
| 25 | 2,93 | 0,057 |
| 26 | 0,11 | 0,002 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

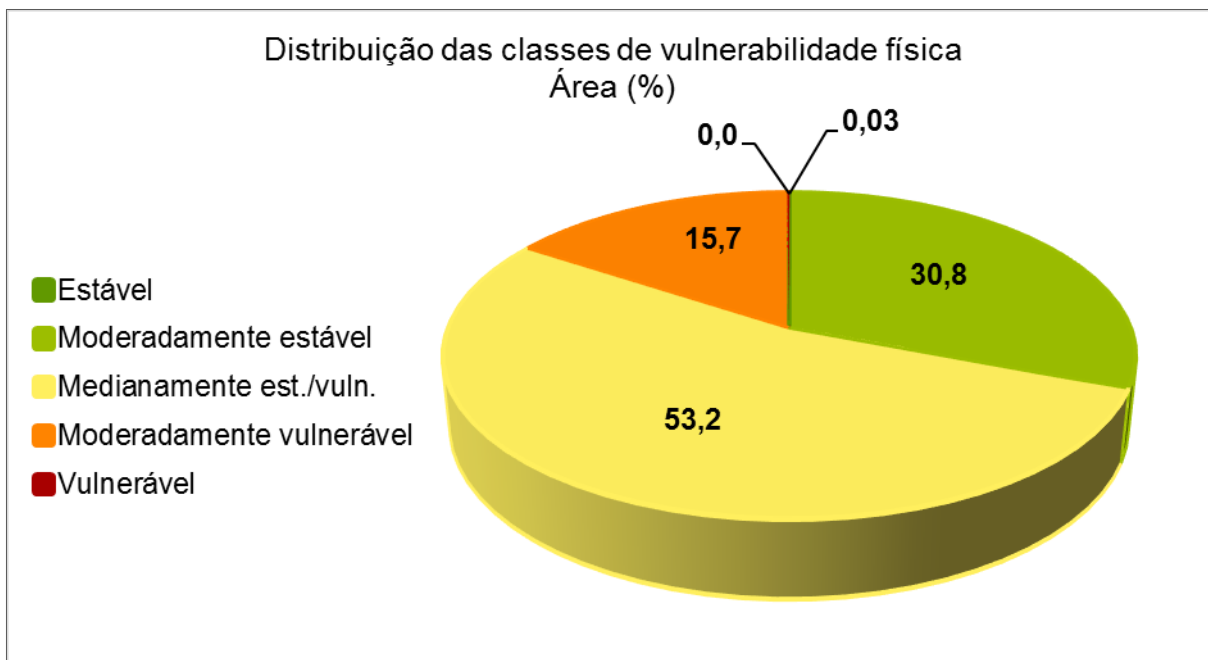


Figura 25. Distribuição das classes de suscetibilidade física. Fonte: Elaborada pelo autor.

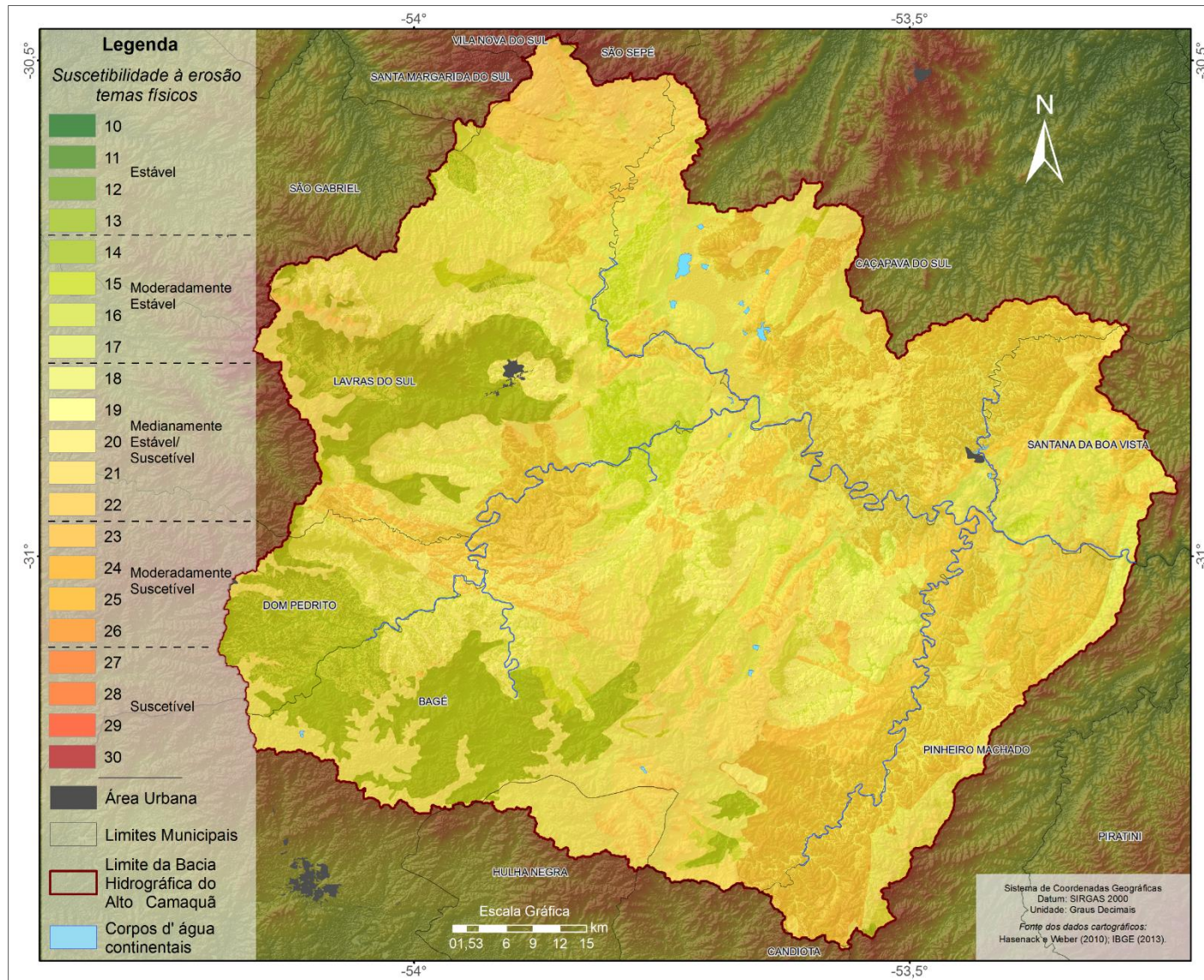


Figura 26. Mapa de suscetibilidade física à erosão na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.5 Identificação e suscetibilidade do uso e cobertura da terra.

O processo de classificação digital do mosaico de imagens Landsat permitiu delinear e quantificar os principais usos e coberturas da bacia do Alto Camaquã (5126,16km² de área total) (Figuras 27 e 28). Na Figura 28 as classes de usos e coberturas da terra adotadas para a BH, estão exemplificadas.

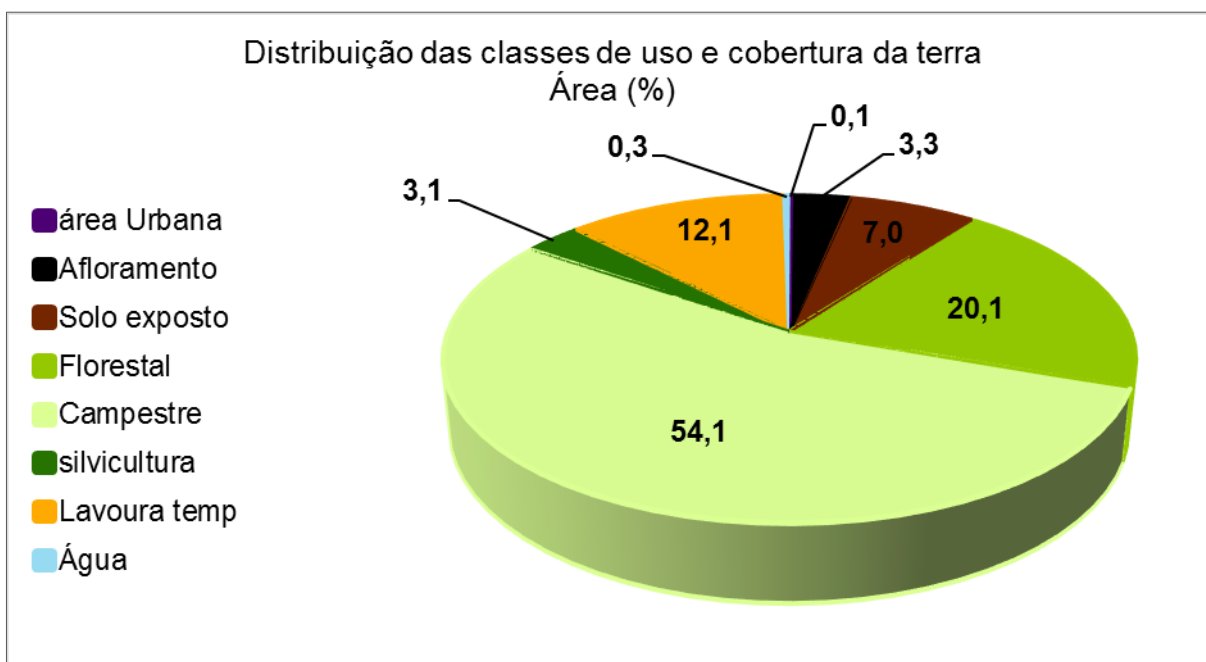


Figura 27. Área relativa ocupada pelas categorias de uso e cobertura da terra na bacia do Alto Camaquã no ano de 2015. Fonte: Elaborada pelo autor.



Figura 28. Exemplos das classes de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã no ano de 2015. Fonte: Elaborado pelo autor. Registro fotográfico: Thales Castilhos.

Foi identificado que a área de estudo em 2015 encontrava-se predominante ocupada por atividades pastoris, que totalizam 2.773,7km² correspondendo pouco mais da metade de sua área (54,1%). A classe “Florestal” ocupava aproximadamente 20,1% (1.028,9km²) da área total, as “lavouras temporárias” com 617,8km² (12,05%), o “solo exposto” com 358,8km² (7%), e o “afloramento rochoso” com 166,7km² (3,25%), enquanto a “silvicultura” e os “corpos d’água e Área urbana” revelaram-se pouco expressivas, abrangendo apenas 3,12% (160,1km²) e 0,4% (19,7km²) respectivamente (Figura 27).

As atividades agropastoris e os solos expostos concentram-se na porção oeste, caracterizada por conter áreas de baixa declividade propícias aos empreendimentos empresariais com alto grau de mecanização. Contudo, na porção leste, a alta declividade dificulta a intensa mecanização no uso da terra. Nesta região, além da presença do lucrativo cultivo silvícolas, predomina as atividades pastoris e afloramentos rochosos.

A BH ainda contém 74,18% (3802,6km²) de sua área recoberta pela vegetação original do bioma pampa, mapeada pelas classes “florestal” e “campestre”. A porção oeste da BH apresenta uma significativa redução no contingente florestal, limitado principalmente às galerias de rios, e sua fitofisionomia é expressa por estágios sucessionais iniciais e médios, principalmente em função ao uso agrícola decorrente da baixa declividade. Enquanto que na porção leste da bacia, mais declivosa, os remanescentes florestais encontram-se em maior número e em estágios sucessionais médios e avançados.

A classe “área urbana” ocupa apenas 5,4km² (0,11% de área da BH), justificado pela paisagem eminentemente rural da BH. As principais infraestruturas, além da zona urbana de Lavras do Sul, são de ordem habitacional, comercial e de apoio às atividades agrosilvopastoris e mineradoras (Figura 29).

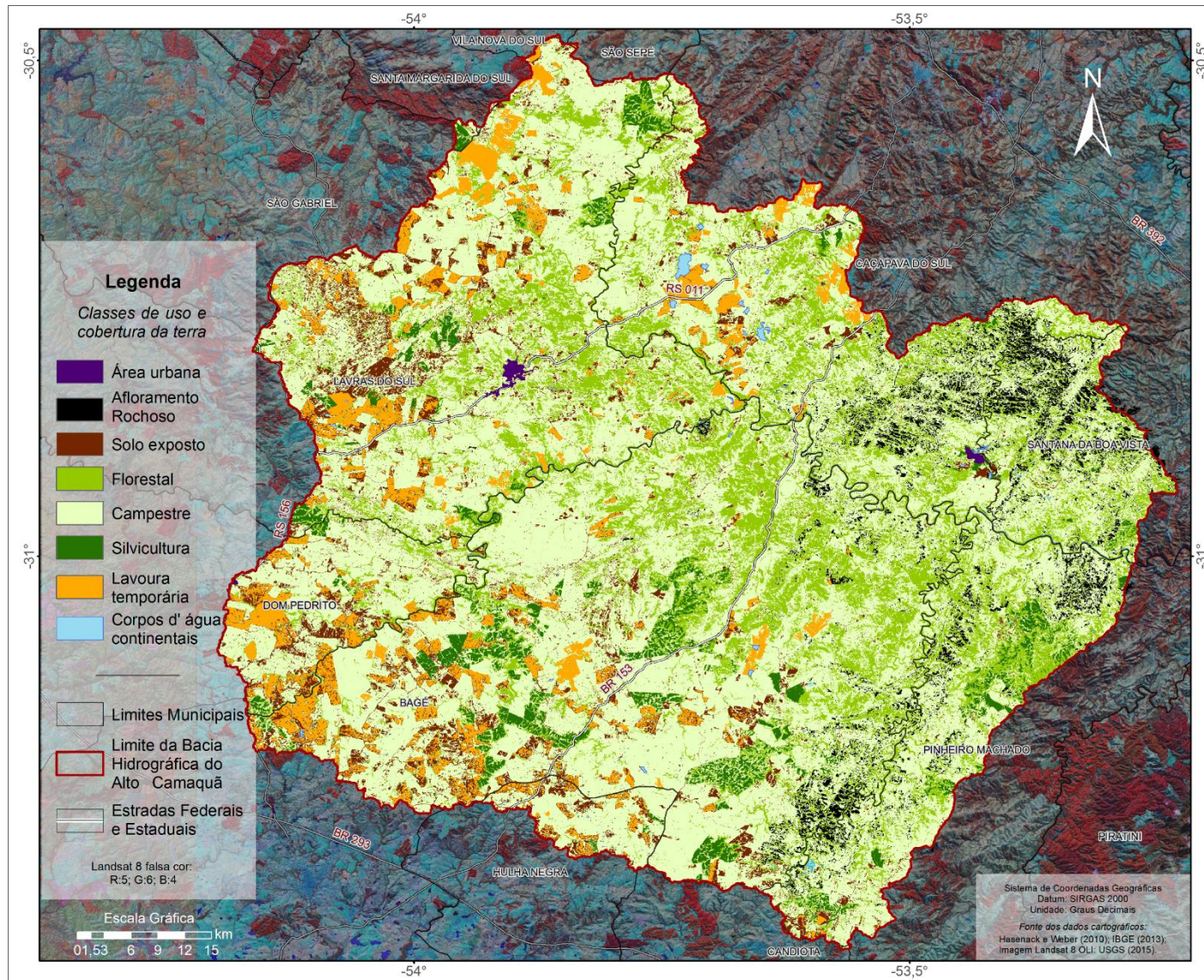


Figura 29. Mapa de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã no ano de 2015. Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos planimétricos com dados de observações empíricas à lócus e informações da classificação, quando submetidos ao teste Kappa retornaram um índice de 87%, uma força de concordância considerada muito boa (Aronoff, 1982; Congalton, 1991), (Tabela 24). Na matriz de confusão foram corroborados 655 pontos analisados e discordados apenas 64. Na Figura 30 é possível observar este baixo número de erros gerado na classificação em relação aos acertos.

Tabela 24. Matriz de confusão entre dados obtidos em campo e classificação de Máxima Verossimilhança. Onde: (1): classe “Água”; (2): “Área urbana”; (3): “Lav. Temporária”; (4): “Florestal”; (5): “Silvicultura”; (6): “Campestre”; (7): “Solo exposto” e (8): “Afloramento rochoso” e valores obtidos no Teste Kappa.

| Dados de Campo | Classificação Supervisionada MaxVer em Landsat OLI 8 | | | | | | | | Σ |
|----------------|--|-----|-------------|-----|-----|-----|----------------------------|-----|-----|
| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | |
| (1) | 4 | | | | | 3 | 1 | | 8 |
| (2) | | 8 | | | | | 1 | | 9 |
| (3) | | | 61 | | | 2 | 11 | | 74 |
| (4) | | | 1 | 175 | 1 | 3 | | | 180 |
| (5) | | | 1 | 3 | 50 | 1 | 11 | | 66 |
| (6) | | | 7 | 1 | 9 | 311 | 5 | | 333 |
| (7) | | | | | | 1 | 37 | | 38 |
| (8) | | | | | | 2 | | 9 | 11 |
| Σ | 4 | 8 | 70 | 179 | 60 | 323 | 66 | 9 | 719 |
| Índice Kappa | | | Erro padrão | | | | Índice de concordância 95% | | |
| 0,87 | | | 0,02 | | | | (0,845 - 0,904) | | |

Fonte: Elaborada pelo autor.

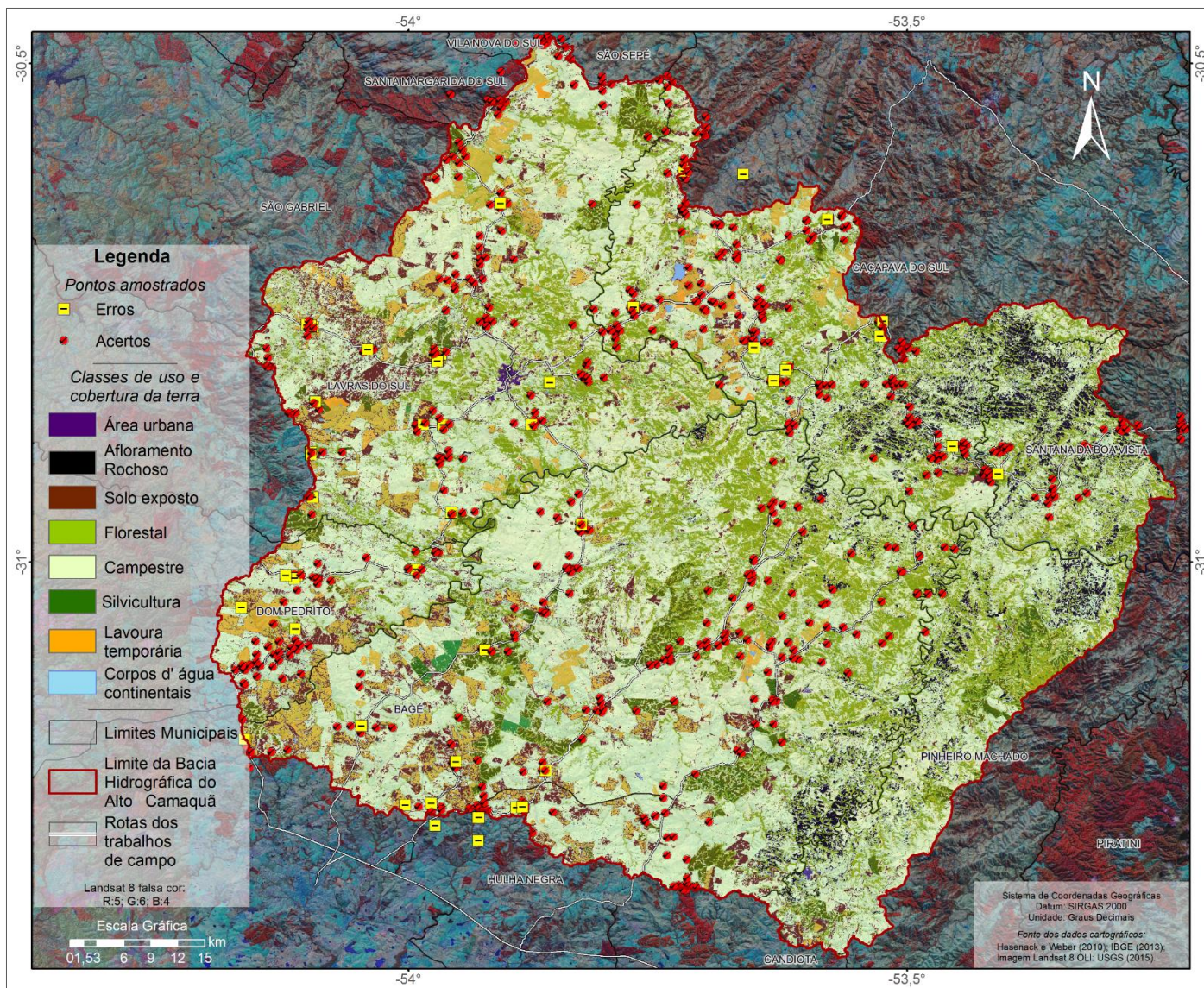


Figura 30. Mapa de validação do uso e cobertura da terra por pontos amostrais. Fonte: Elaborada pelo autor.

A suscetibilidade da área de estudo possui predomínio da classe “20”, medianamente estável/suscetível, com 54,11% (Figura 31). A classe estável foi constituída, em geral, pela categoria “Florestal” com representatividade de aproximadamente 20,1% da bacia hidrográfica. Todavia as “lavouras temporárias” perfazem 12,05% moderadamente suscetíveis e as classes “Afloramento rochoso”, na porção leste, “Solo exposto”, porção oeste, e “Área urbana”, por não apresentarem cobertura vegetal, caracterizam a classe “suscetível” com 10,25% da área total da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã (Tabela 25 e Figura 32).

Tabela 25. Quantificação da suscetibilidade antrópica e de cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Classe de uso e cobertura | Suscetibilidade | Area_km² | Área (%) |
|----------------------------------|------------------------|----------------------------|-----------------|
| Florestal | 10 | 1028,93 | 20,07 |
| Água/Sombra | 10 | 14,68 | 0,29 |
| Silvicultura | 15 | 160,08 | 3,12 |
| Campestre | 20 | 2773,68 | 54,11 |
| Lavoura temporária | 25 | 617,86 | 12,05 |
| Área Urbana | 30 | 5,40 | 0,11 |
| Solo exposto | 30 | 358,81 | 7,00 |
| Afloramento | 30 | 166,72 | 3,25 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

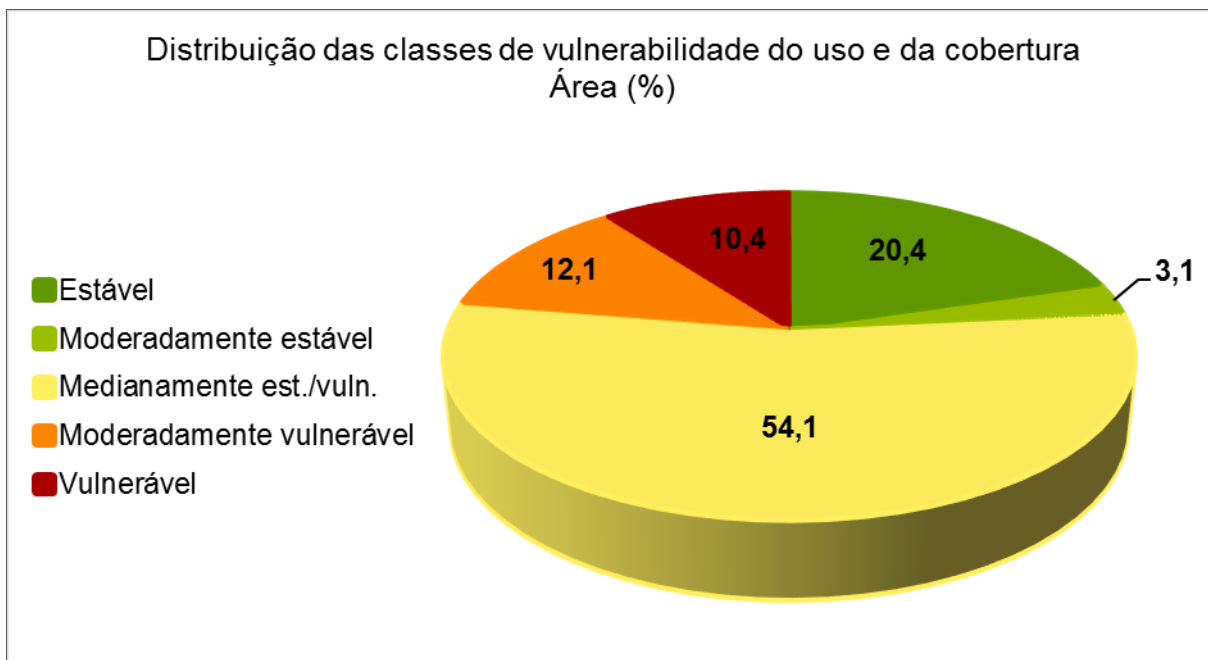


Figura 31. Distribuição das classes de suscetibilidade antrópica e de cobertura da terra. Fonte: Elaborada pelo autor.

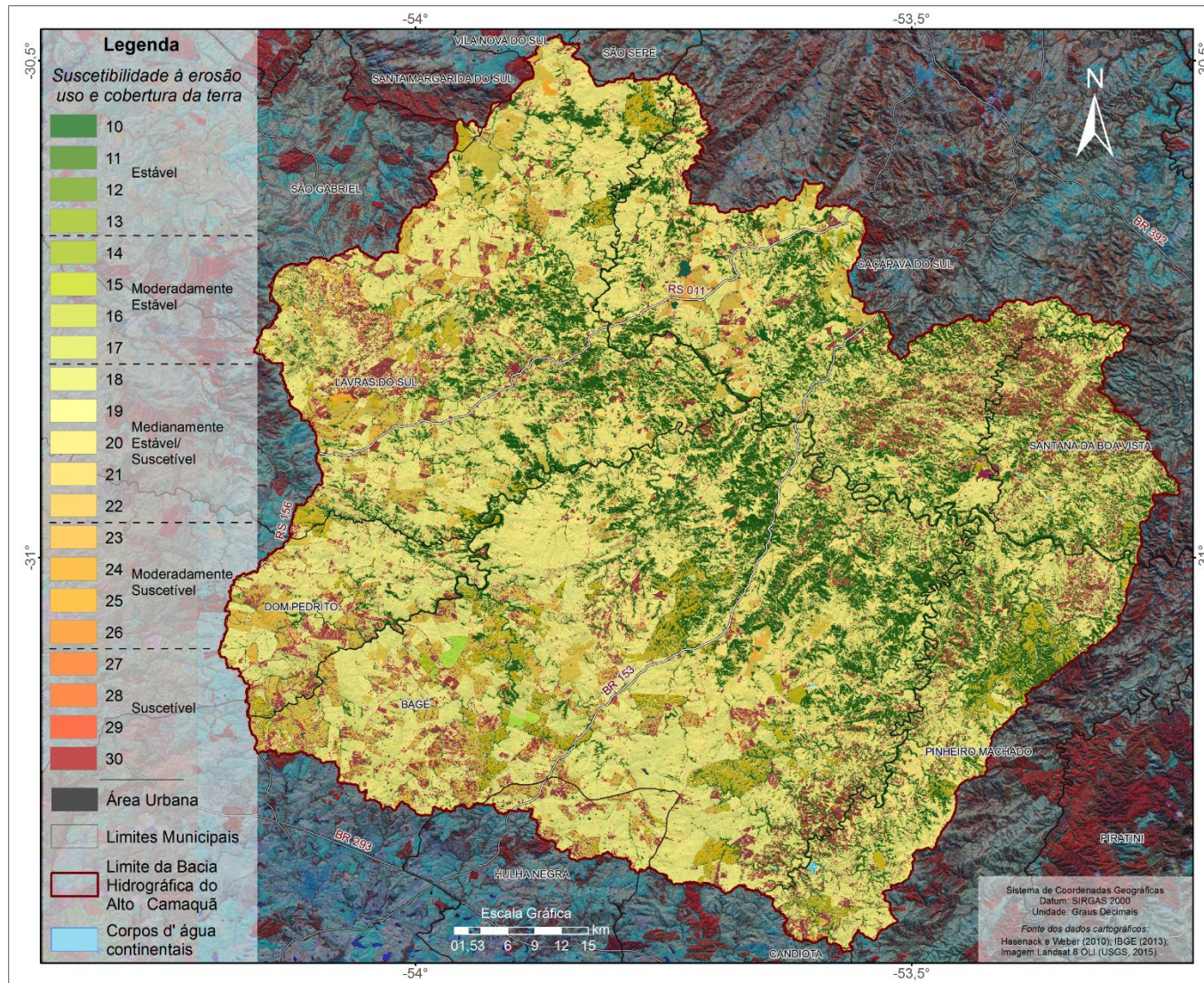


Figura 32. Mapa de suscetibilidade do uso e da cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

6.6 Suscetibilidade dos elementos físicos e antrópicos.

O mapeamento de suscetibilidade à erosão, resultante da média entre a suscetibilidade dos elementos físicos e a suscetibilidade do uso e da cobertura da terra, possui 18 classes (Tabela 26). A classe com maior expressão foi a 20, ocupando 19,5% da área total. Na Tabela 26 é possível observar que as classes intermediárias foram mais representativas, por outro lado os níveis extremos e as categorias limítrofes apresentaram pequenas áreas de abrangência na bacia hidrográfica.

Tabela 26. Percentual das classes de suscetibilidade física e antrópica na Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã.

| Classe de Vuln. Geomorfológica | Área (km ²) | Área (%) |
|--------------------------------|-------------------------|----------|
| 11 | 0,01 | 0,0 |
| 12 | 56,09 | 1,1 |
| 13 | 83,74 | 1,6 |
| 14 | 149,74 | 2,9 |
| 15 | 414,82 | 8,1 |
| 16 | 213,61 | 4,2 |
| 17 | 574,04 | 11,2 |
| 18 | 330,17 | 6,5 |
| 19 | 664,34 | 13,0 |
| 20 | 998,06 | 19,5 |
| 21 | 496,98 | 9,7 |
| 22 | 617,29 | 12,1 |
| 23 | 115,18 | 2,3 |
| 24 | 99,12 | 1,9 |
| 25 | 119,83 | 2,3 |
| 26 | 55,90 | 1,1 |
| 27 | 124,91 | 2,4 |
| 28 | 1,01 | 0,0 |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando agrupadas, a categoria “medianamente estável/suscetível” ocupou um total de 60,7%, mais da metade da área da Bacia do Alto Camaquã. A classe “moderadamente estável”, por sua vez, foi quantificada em 26,4%. Já as classes “moderadamente suscetível”, “estável” e “suscetível” apresentaram 7,6%, 2,7% e 2,5% respectivamente (Figura 33).

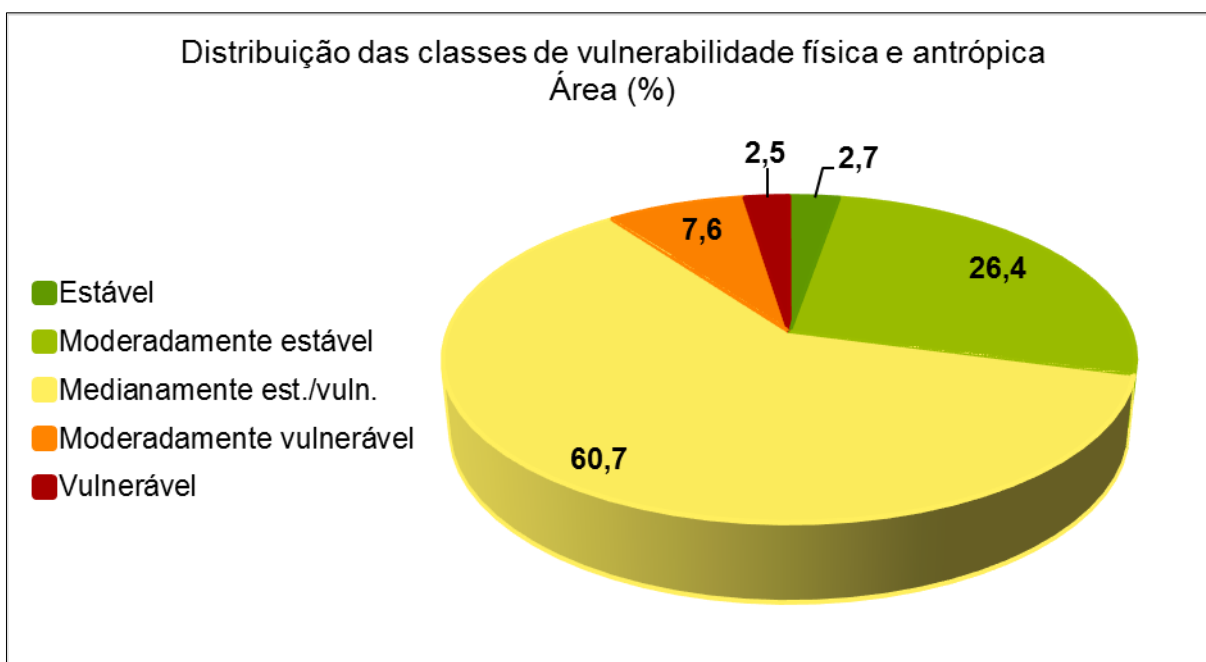


Figura 33. Distribuição das classes de suscetibilidade física e antrópica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

A classe estável representada na Figura 34, resulta, principalmente, das coberturas “Florestal”, “Campestre” e ainda “Silvicultura” sobre áreas com baixa suscetibilidade, ou seja estabilidade dos aspectos físicos. Esta estrutura compreende um uso estável sobre uma área estável.

Nesse sentido, a classe moderadamente estável está representada, assim como a categoria medianamente estável/suscetível, homogeneizada em toda a área de estudo com maior destaque para a região central. O nível moderadamente suscetível situa-se principalmente em áreas planas com solo exposto, na região norte e oeste, onde o cultivo de lavouras temporárias é predominante e também na porção leste, caracterizada por altas declividades. Já a classe suscetível, com atuação quase insignificante em relação a área total, foi destacada pela presença de afloramentos rochosos sobre áreas suscetíveis quanto aos aspectos físicos presente no leste da bacia hidrográfica (Figura 34).

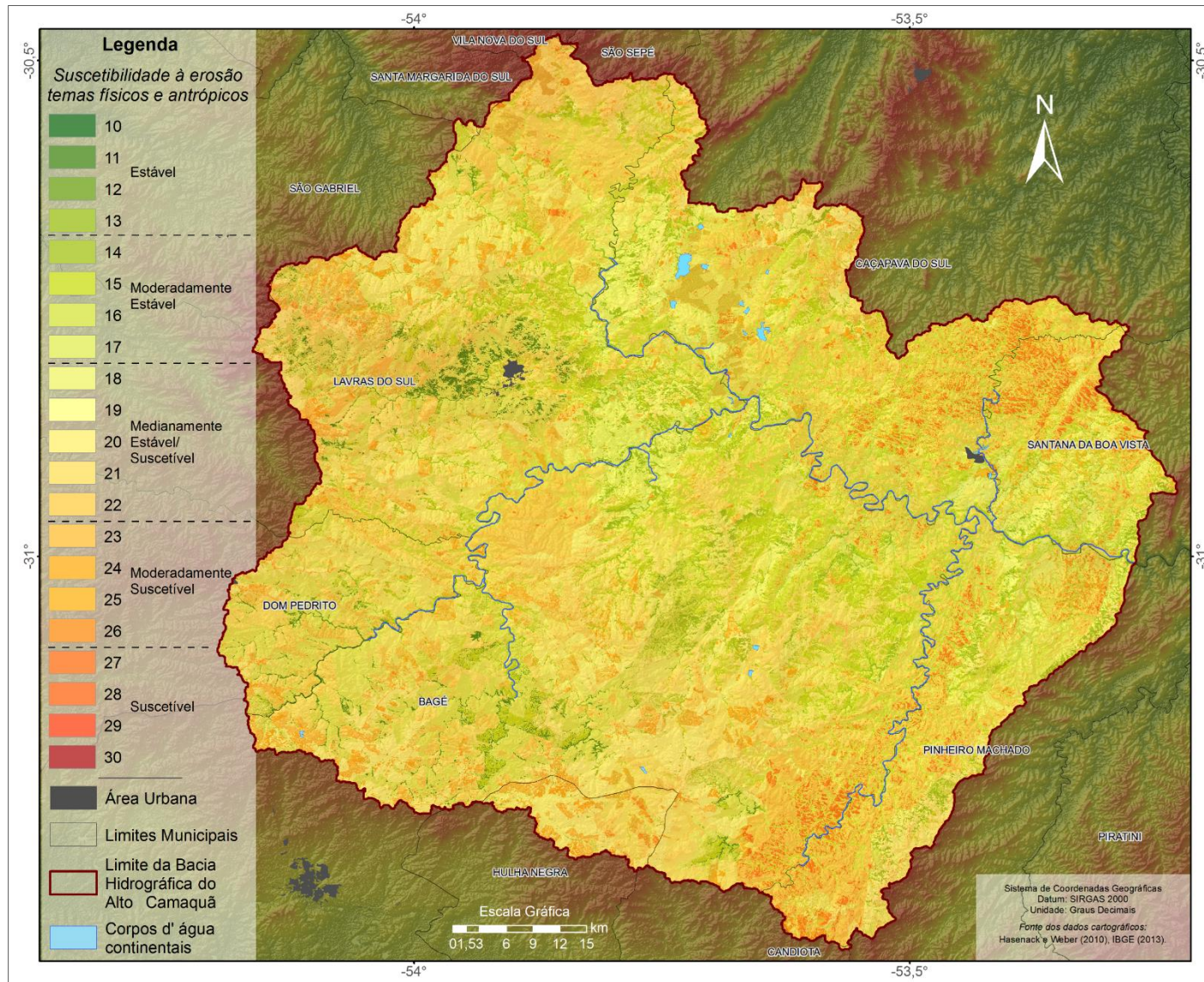


Figura 34. Mapa de suscetibilidade física e antrópica da Bacia Hidrográfica do Alto Camaquã. Fonte: Elaborada pelo autor.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As classes geológicas e pedológicas presentes na Bacia do Alto Camaquã convergem para processos de morfogênese. A geomorfologia é moderadamente estável, contudo suas classes formadoras não tiveram resultados individuais confluentes. A declividade possui em geral uma suscetibilidade/ estabilidade mediana, a amplitude altimétrica uma estabilidade e os domínios geomorfológicos tenderam à suscetibilidade. Já as atividades agrosilvopastoris prevalecem desde sua ocupação, com expressão na pecuária extensiva.

A análise individualizada e integrada dos temas físicos e de uso e cobertura da terra permitiu a distinção de duas áreas na Bacia do Alto Camaquã. A região leste da bacia hidrográfica discrepa da região oeste tanto em características físicas quanto antrópica. Enquanto na região oeste prevalece a pedogênese em suas características físicas e a morfogênese no uso da terra, a região leste opõe com representatividade dos processos morfogenéticos em seus atributos físicos e pedogenéticos no uso da terra, com exceção dos afloramentos rochosos.

A região oeste é caracterizada por suscetibilidade/estabilidade física e antrópica mediana, pois apesar de contar com suscetibilidades atribuídas ao alto nível de mecanização voltado para atividades agrícolas como cultivos temporários e silvícolas, possui estabilidade física à erosão. Grande parte desta região é coberta pela vegetação nativa do bioma pampa com atividades pecuaristas, o que denota para uma estabilidade dos processos erosivos.

O setor leste possui uma maior manutenção da cobertura florestal, situada sobre unidades paisagísticas de morros com presença de afloramentos rochosos. As características físicas dessa região traduzem suscetibilidade aos processos erosivos, contudo o uso da terra é presente somente em áreas menos declivosas com a prática do cultivo silvícola.

O modelo de suscetibilidade à erosão aplicado com ferramentas de geoprocessamento e produtos e técnicas de sensoriamento remoto mostrou-se eficaz para a identificação das áreas com pré-disposições morfogenéticas ou pedogenéticas.

O déficit de informações climáticas sobre a área de estudo impossibilitou a avaliação da suscetibilidade aos eventos pluviométricos e de temperatura.

Este trabalho é aconselhado para ser replicado em estudos de qualquer bacia hidrográfica, principalmente com altas declividades ou usos suscetíveis, de forma a

contribuir no planejamento, preservar os recursos naturais e prevenir desastres, possibilitando também avaliar quais são os fatores influenciados por uma grande entrada de energia.

Recomenda-se estudos de Potencialidade Social, pois complementariam a pesquisa para o zoneamento ecológico econômico (ZEE) desta bacia hidrográfica.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. de; SANTOS, L. J. C.; MARTINS, G. G. Contribuição metodológica para a análise da fragilidade emergente: estudo de caso no município de Colombo/PR. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 17, p. 113-127, 2009.

ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução temporal do uso e cobertura da terra: estudo de caso no município de Teutônia-RS-Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 61/3, 2011.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da terra com base na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 59, n. 2, 2011.

ARONOFF, S. Classification accuracy: a user approach. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 8, n. 8, p. 1299-1307, 1982.

BATISTA, M. de A.; PAIVA, D. W. de; MARCOLINO, A. (Org.). **Solos para todos: perguntas e respostas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Série Documentos, 87p., 2014.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. **Cadernos de ciências da terra**, v. 13, p. 1-27, 1972.

BLOOM, A. **Superfície da Terra**. S. Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1970.

BOTELHO, R. G. M.; DA SILVA, A. S. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

BRAIDA, J.A.; CASSOL, E.A. Relações de erosão em entressulcos com o tipo e a quantidade de resíduo vegetal na superfície do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.711-721, 1999.

BRASIL, Decreto-Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 maio 2012. Seção 1, p. 37.

BRASIL, Decreto-lei nº 9433, de 8 de Janeiro de 1997, Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 9 jan.1997. Seção 1, p. 470.

CÂMARA, G.; ORTIZ, M. J. **Sistemas de informação geográfica para aplicações ambientais e cadastrais: uma visão geral**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. 1998. p. 59-82.

CÂMARA, G. **Representação computacional de dados geográficos**. Bancos de dados geográficos. São José dos Campos: Mundogeo, 2005. v. v.1, p. 11-52.

CAMPOS, S.; PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M.; SILVA, M.G.; SOARES, M.C.E.; GRANATO, M.; CAVASINI, R.; MOREIRA, K.F. Imagens digitais na análise do uso da terra de uma microbacia como subsídio ao desenvolvimento sustentável. **Agrarian**, Dourados, v.3, n.9, p.209-215, 2010.

CARVALHO, E. M.; PINTO, A. L. Riscos ambientais em bacias hidrográficas: um estudo de caso da bacia do Córrego Fundo, Aquidauana/MS. *Climatologia e Estudos da Paisagem*. Rio Claro. v. 4, n. 1, jul.-dez., 2009. p.53-78.

CARVALHO, M. S. **Aplicação de métodos de análise espacial na caracterização de áreas de risco à saúde**. 1997. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO.

CHANDER, G., MARKHAM, B.L., HELDER, D.L..Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors.**Remote Sensing of Environment**, v. 113, n. 5, p. 893–903, 2009.

CHAVEZ, P.S JR. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 9, p. 459-479, set. 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. A geografia física no estudo das mudanças ambientais. In: Becker, B. K. (Org.). **Geografia e Meio Ambiente no Brasil**. Rio de Janeiro: HUCITEC, p. 334-345, 1995b.

CHRISTOFOLETTI, A. Condicionantes geomofol\u00f3gicos e hidrol\u00f3gicos aos programas de desenvolvimento. In: Tauk, S. M. (Org.) **An\u00e1lise ambiental: Uma vis\u00e3o multidisciplinar**. 2 ed. S\u00e3o Paulo: UNESP, p. 104 – 106, 1995a.

CIHLAR, J.; JANSEN, L. J. M. From land cover to land-use: A methodology for efficient land-use mapping over large areas. **The Professional Geographer**, v. 53, n. 2, 2001.
COHEN, J. A., 1960. Coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Psychological Measurement**, 20: 37-46.

COMBER, A. J. The separation of land cover from land use using data primitives. **Journal of Land Use Science**, v. 4, n. 4, p. 215–229, 2008.

COMBER, A. J.; FISHER, P.; WADSWORTH, R. Comparing statistical and semantic approaches for identifying change from land cover datasets. **Journal of Environmental Management**. v. 77, p. 47-55. 2005.

CONGALTON, R.G. A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 37, n. 1, p.35-46, 1991.

COSTA, S. M. F.; MANTOVANI, A. C. M.; JUNIOR, R. N. Estudo de Compatibilidade entre Crescimento Urbano e Aptid\u00e3o F\u00edsica Utilizando Geotecnologias–um estudo de caso. In: **Congresso Brasileiro de Cadastro T\u00e9cnico Multifinalit\u00e1rio**. 2000.

COSTA, T.; FIDALGO, E.; UZEDA, M.; ZARONI, M.; NAIME, U.; GUIMAR\u00c3ES, S. Um indicador de vulnerabilidade para sub-bacias hidrogr\u00e1ficas do Estado do Rio de Janeiro. **Geografia**. Londrina, v. 17, n.2, p. 5-23, jul./dez. 2008.

COSTA NETO, J\u00falio Ferreira. Elabora\u00e7\u00e3o de mapas de vulnerabilidade natural \u00e0 eros\u00e3o como subs\u00eddio ao zoneamento ambiental em bacias hidrogr\u00e1ficas com o uso de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Espeleologia**, v. 1, n. 1, p. 52-60, 2010.

CPRM-Servi\u00e7o Geol\u00f3gico do Brasil. **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Rio de Janeiro: CPRM, 2010. 250 p.

CREPANI, E. MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F.; SILVA, E.B. Zoneamento Ecol\u00f3gico-Econ\u00f4mico. In: FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. S\u00e3o Paulo: Oficina de Textos, 2008. cap. 10, p. 285-318.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. de; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecol\u00f3gico-Econ\u00f4mico e ao ordenamento territorial**.

(INPE-8454-RPQ/722). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S.; L.G.; AZEVEDO, L.G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento Ecológico- Econômico**. São José dos Campos. INPE, maio de 1996, 18p. (INPE- 6145-PUD/028).

DI GREGORIO, A. e JANSEN, L.J.M. **Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual**. For software version 1.0. GCP/RAF/287/ITA Africover - East Africa Project in cooperation with AGLS and SDRN. Nairobi, Rome. 1998.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009. xxvi, 412p. Disponível em: <http://solos.ufmt.br/docs/solos3/SIBCs_2009.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2015.

ESRI (Environmental Systems Research Institute). **ArcGIS Desktop 10.2.2 Redlands (CA)**, 2014.1 CD-ROM.

FAO/UNEP – **Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación**. El Futuro de Nuestra Tierra – Enfrentando el desafío, Roma, 2000.

FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental - SEMA - e secretaria Estadual de Meio Ambiente. **Zoneamento Ambiental para atividade de silvicultura**. Vol. I e II. Porto Alegre, Janeiro de 2007.

FIDALGO, E. C. C.; ABREU, B. M. **Uso de imagens Aster para o mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio São Domingos, RJ**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, p. 3747-3753, 2005.

FIGUEIREDO, D. Conceitos básicos de sensoriamento remoto. **Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Brasília- DF**, 2005.

FIGUEIRÓ, A. S.; SELL, J. C.; LOSEKANN, M. B.; DEGRANDI, S. M. A COMPREENSÃO DA PAISAGEM DO ALTO CAMAQUÃ: debate ambiental sobre o Bioma Pampa (the understanding of the landscape of the Alto Camaquã: environmental debate of the Pampa Biome). **Revista Mercator**, v. 10, n. 23, p. 147 a 158, 2011.

FISHER, P. F.; COMBER, A. J.; WADSWORTH, R. A. **Land use and land cover: Contradiction or complement.** In Fisher, P., & Unwin, D. (Eds.), *Re-presenting GIS*. Chichester, UK: Wiley, 2005.

FLORES, C.A.; FILIPPINI ALBA, J.M.; NACHTIGALL, S. D.; CUNHA, H. N.; LOPES, R. T.; DALMOLIN, R.; PEDRON, F. S. D.; BUENO, J. M. M.; DEOBALD, G. A.; NASCIMENTO, P. P. R. R.; FLORES, J. P. M.; BERNICH, E. B.; LANGE, M. C. Levantamento semidetalhado de solos: Município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. In: FLORES, C.A.; FILIPPINI ALBA (org). **Zoneamento edáfico de culturas para o município de Santa Maria-RS, visando o ordenamento territorial.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2015.

FOSTER, G.R. Modeling the erosion process. In: HAAN, C.T.; JOHNSON, H.P.; BRAKENSIEK, D.L. (Ed.). **Hydrologic modeling of small watersheds.** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineering, 1982. p.297-380. (Monograph, 5).

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4 ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOFFERMANN, M. Caracterização hidrogeológica e hidroquímica das águas subterrâneas da Região de São Gabriel, RS. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências, Programa de Pós-graduação em Geociências, IGEO/ UFRGS, Porto Alegre, 2013. 137f.

GONÇALVES, G. G. G.; DANIEL, O.; COMUNELLO, É.; VITORINO, A. C. T.; PEREIRA, H. H. G.; ARAI, F. K. Caracterização empírica da fragilidade ambiental em bacias hidrográficas: o caso da bacia do Rio Dourados-MS. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2, 2009, Corumbá. Anais... Corumbá: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2009. p. 422-432.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. Degradação ambiental. In: CUNHA, S. B. *Geomorfologia e meio ambiente.* Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p. 337-379.

HASENACK, H.; CORDEIRO, J.L.P.(org.). **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Pampa.** Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. 30 p. (Relatório técnico Ministério do Meio Ambiente: Secretaria de Biodiversidade e Florestas no âmbito do mapeamento da cobertura vegetal dos biomas brasileiros). 2006.

HASENACK, H.; WEBER, E. (org.) **Base cartográfica vetorial continua do Rio Grande do Sul – escala 1:50.000.** Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia.2010.1 DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).

HERRMANN, M. L. P.; ROSA, R. O. **Relevo e Geografia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo agropecuário**. Sistema IBGE de Recuperação Automática- SIDRA. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 mar. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Censo demográfico**. Banco de Dados Agregados. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Geomorfologia – 1:250.000**. 2012a. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/geomorfologia/>. Acesso em: 15 ago. 2014.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Mapeamento topográfico**. 2013. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias>. Acesso em: 05 Abr. 2015.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Pedologia – 1:250.000**. 2012b. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapas_tematicos/pedologia/>. Acesso em: 10 ago. 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Manual técnico de uso da Terra**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

JANSEN, L. J. M.; DI GREGORIO, A. **Land use data collection using the “land cover classification system: Results from a case study in Kenya**. Land Use Policy, v. 20, p. 131–148, 2000.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009. 672 p.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. New Jersey: Prentice-Hall, 816p.1999.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; CAMPOS, K. C.; LUCHIARI, A.; ROSS, J. L. S. Caracterização empírica da fragilidade ambiental utilizando geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. Anais... Goiânia: INPE, 2005. p. 2203-2210.

KELLER, E. C. de S. Mapeamento da utilização da terra. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro: IBGE, v. 31, n.3, p. 151-160, jul./set. 1969.

KNIGHTON, A. D. River adjustment to changes in sediment load: the effects of tin mining on the Ringarooma River, Tasmania, 1875–1984. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 14, n. 4, p. 333-359, 1989.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**, v. 3, 1992.

LIMA, A. G. **A bacia hidrográfica como recorte de estudos em geografia humana**, 1995.

LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ, 1976.

LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. **Monitoramento de bacias hidrográficas em áreas florestadas**. Série Técnica IPEF, v.10, n.29, p.11-21, 1996.

LINS-DE-BARROS, F. M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos sócio-econômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.l.], v. 6, n. 2, p. 83-90, 2005.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande-MS: UNIDERP, 2006.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E. Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 12, p. 2365-2407. 2004.

MARCELINO, E. V.; NUNES, L. H.; KOBAYAMA, M. **Mapeamento de risco de desastres naturais do estado de Santa Catarina**. Caminhos de Geografia, v. 7, n. 17, 2006.

MARCHIORI, J. N. C. Fitogeografia do Rio Grande do Sul: Campos Sulinos. Porto Alegre: EST, 2004. In: PILLAR, V.P... [et. al]. Editores. **Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009.

MENEZES, J. B.; ARAÚJO, M. D. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; SAMPAIO, E. V. D. S. B.; BARROS CORRÊA, A. C. Índice de vulnerabilidade à erosão para uma bacia na mesorregião do São Francisco Pernambucano, a partir das relações entre morfogênese e pedogênese. *Revista Brasileira de Geomorfologia*. v. 8, n. 2, p. 45-56, 2007.

MENEZES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagem de Sensoriamento Remoto**. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82ae9693e4f69d8>>. Acesso em: 22 abr 2014.

MIURA, A. K.; MIURA, G. M.; FORMAGGIO, A. R.; SHIMABUKURO, Y. E. Detecção de Mudanças no Uso das Terras no Município de Pelotas (RS, Brasil) no período de 1985 a 2007, por meio de Processamento Digital de Imagens. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 5997-6004. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.21.36.34/doc/5997-6004.pdf>. Acesso em 17 de novembro de 2014.

MOREIRA, C. V. R.; PIRES NETO, A. G. Clima e relevo. In: OLIVEIRA, S. M. dos; BRITO, S. N. A. de (Eds.) **Geologia de Engenharia**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de Aplicação**. Viçosa: UFV, 2011. 422 p.

NASA (National Aeronautics and Space Administration). **Shuttle Radar Topography Mission**. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 12 abr. 2015.

NESKE, M. Z. **Estilos de agricultura e dinâmicas locais de desenvolvimento rural: o caso da Pecuária Familiar no Território Alto Camaquã do Rio Grande do Sul**. 2009. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural, Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo, Edgard Blucher, 2^oed. 2002.

OLIVEIRA, P. T. S. D.; RODRIGUES, D. B. B.; ALVES SOBRINHO, T.; PANACHUKI, E. Processo analítico hierárquico aplicado a vulnerabilidade natural a erosão. **Geociências**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 417-424, 2009.

OVERBECK GE, MÜLLER SC, FIDELIS A, PFADENHAUER J, PILLAR VP, BLANCO CC, BOLDRINI II, BOTH R AND FORNECK ED. 2009. Os Campos Sulinos: um bioma negligenciado. In: PILLAR, V.P... [et. al]. Editores. **Campos Sulinos: Conservação e uso sustentável da biodiversidade**. Brasília: MMA, 2009.

PALMEIRA, A. F.; CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na proposta de um mapa de ordenamento territorial do Município de Paragominas (Estado do Pará). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3207-3214.

PARK, C. C. Man, River Systems and Environmental Impactos. **Progress in Physical Geography**, v. 5, n. 1, p. 1-31, 1981.

PESAVENTO, S. J. **A história do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Ed. Mercado Aberto, 1997.

PICOLLI, L.R., SCHNADELBACH, C. V. [coord.] **O Pampa em Disputa: A biodiversidade ameaçada pela expansão das monoculturas de árvores**. Amigos da Terra Brasil. Porto Alegre, 2007.

PISSARRA, T. C. T. **Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1º ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem**. 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

PISSARRA, T. C. T.; POLITANO, W.; FERRAUDO, A. S. Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p. 297-305, 2004.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. São Paulo, v. 22, n. 63, pp. 43-60, 2008.

PRUSKI, F. F.; AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; GRIEBELER, N. P.; SILVA, J. M. A. Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 240 p.

RAMBO, B. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Livraria Selbach, 1956.

REBELO, F. **Riscos naturais e acção antrópica: estudos e reflexões**. Imprensa da Univ. de Coimbra, 2003.

RENNÓ, C.D.; NOBRE, A.D.; CUARTAS, L.A.; SOARES, J.V.; HODNETT, M.G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M.J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 3469-3481, 2008.

RIBEIRO, C.M.; BALDASSO, N.A. (Coord.) **Diagnóstico dos Sistemas Agrários de Caçapava do Sul**. Porto Alegre : EMATER-RS, 1998. 127 p.

RIBEIRO, F. L.; CAMPOS, S. Vulnerabilidade à erosão do solo da região do Alto Rio Pardo, Pardinho, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 628-636, 2007.

ROSS, J. L. S. "Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados". In: **Revista do Departamento de Geografia** n°8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: ERTS-1 Symposium, 3. 10-14 December, Washington, DC. **Proceedings...** Washington, NASA SP-351, p. 309-317, 1973.

SANTOS, R. F. dos; THOMAZIELLO, S.; WEILL, M. de A. M. Planejamento da paisagem. In: SANTOS, R. F. dos (org.) **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

SAUSEN, T. Sensoriamento Remoto. **Tópicos em Meio ambiente e ciências atmosféricas**. São José dos Campos: INPE, 2005.

SEPLAG. **Secretária de Planejamento e Gestão do Rio Grande do Sul**. Disponível em: <www.seplag.rs.gov.br/>. Acesso em: 10 jan. 2015.

SHIMABUKURO, Y. E.; BATISTA, G. T.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. Using shade fraction image segmentation to evaluate deforestation in Landsat Thematic Mapper of the Amazon Region. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 3, p. 535-541. 1998.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. v. 29, p. 16-20, 1991.

SILVA, M. T. G.; LACERDA, M. P. C.; CHAVES, A. A. A. Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das terras da microbacia do Ribeirão João Leite, Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical (Agricultural Research in the Tropics)**, v. 39, n. 4, p. 330-337, 2009.

SIMON, A. L. H. **A Dinâmica do Uso da Terra e sua Interferência na Morfohidrografia da Bacia do Arroio Santa Bárbara - Pelotas (RS)**. 2007.185f. Dissertação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro-SP, 2007.

SONG, C.; WOODCOCK, C.E.; SETO, K. C., LENNEY M., P., MACOMBER, S., A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects. **Remote Sensing of Environment**, v. 75, n. 2.p. 230- 244, 2001.

SOPPER, W. E. Effects of timber harvesting and related management practices on water quality in forested watersheds. **Journal of environmental quality**, v. 4, n. 1, p. 24-29, 1975.

SPÖRL, C.; ROSS, JL Sanches. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP-Espaço e Tempo**, v. 15, p. 39-49, 2004.

SPRING. **Manual do Spring: Classificação de imagens**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial>>. Acesso em: 21 Fev. 2015.

STRAHLER, A.H. The use of prior probabilities in maximum likelihood classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v.10, n.2, p. 135-163, 1980.

STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. D.; SCHNEIDER, P.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. UFRGS, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, 2008.

THOMAZIELLO, S.. Sobre a qualidade ambiental. In: SANTOS, R. F. dos (org.) **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

THORTON, W. K. Perspectives on Reservoir Limnology. In THORTON, W. K. et al. (ed.) **Reservoir limnology: ecological perspectives**. John Wiley and Sons, Inc. 1990.

TRICART, J. **Ecodinâmica**, Rio de Janeiro: IBGE-SUPREN, 1977, 91p. (Recursos Naturais e Meio Ambiente).

TUCCI, C.E.M. (Org.) (2002) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS: ABRH, 2002. 942 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos; v.4).

TUFFORD, D. L.; MCKELLAR, H. N.; HUSSEY, J. R. Stream nonpoint source nutrient prediction with land-use proximity and seasonality. **Journal of Environmental Quality**, v. 27, n. 1, p. 100-111, 1998.

USGS (United States Geological Survey). **Landsat Program**. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 03 jan. 2015.

USGS (United States Geological Survey). Landsat Project Description. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> Acesso em: 19 Jan. 2015.

WEILL, M. de A. M.; PIRES NETO, A. G. Erosão e assoreamento. In: SANTOS, R. F. dos (org.) **Vulnerabilidade Ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007. 192p.

WILDNER, W.; RAMGRAB, G. E.; LOPES, R. C.; IGLESIAS, C. M. F. **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2008. 1 DVD. Escala 1:750.000. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/media/>>. Acesso em: 01 out. 2014.

WOLMAN, M. G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels. **Geografiska Annaler. Series A. Physical Geography**, p. 385-395, 1967.

ZERFASS, H. **História tectônica e sedimentar do Triássico da Bacia do Paraná (Rio Grande do Sul, Brasil) e comparação geológica com as bacias de Ischigualasto e de Cuyo (Argentina)**. 2003. Tese de Doutorado. PhD Thesis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 191 pp.(unpubl.).